This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

University of Wisconsin
LIBRARY
Class THNC
Book .P61
Presented by

GUSTAV E STECHERT
9 EAST 16 STREET
NEW YORK

Der

Fabrikschornstein.

Ein Hand- und Hülfsbuch

für

Berechnung und Entwurf gemauerter Schornsteine.

Auf theoretisch-praktischer Grundlage leichtfasslich aufgebaut

und

zum Selbstunterricht, sowie zum Gebrauch in der Praxis bestimmt

von

Fr. Pietzsch,

Kgl. Bauinspektor, Hüttenbaumeister der Kgl. Halsbrückner Hütte.

Mit 43 Tabellen und 16 Tafeln Zeichnungen.

Freiberg in Sachsen.
Verlag von Craz & Gerlach (Joh. Stettner).
1896.

41676
12 Ap '97
THNC
·P61
6755440

Vorwort.

Vielfach tritt an den Maschineningenieur die Aufgabe heran, einen Fabrikschornstein beurtheilen, oder einen solchen berechnen und entwerfen zu müssen; so kam auch der Verfasser in seiner langjährigen Thätigkeit als Ingenieur eines staatlich anerkannten Dampfkessel-Revisionsvereins, als Gewerbeinspektionsbeamter und als Hüttenbaumeister des Oefteren in diese Lage. Das war im Anfang oft ein schweres Stück Arbeit; aus Büchern konnte man sich nicht Rathes erholen, da einmal der deutschen Fachlitteratur ein Werk fehlte, welches diesen Gegenstand in engster Fühlung mit der Praxis knapp und bestimmt behandelt hätte, und da zweitens die in den Taschenbüchern enthaltenen Formeln oft nicht unerheblich von einander abwichen. Hier hiess es selbst Hand anlegen, und so entstanden, zunächst zur eigenen Orientirung und für den Selbstgebrauch bestimmt, die Abschnitte II bis IV des vorliegenden Buches, denen sich als Formelauszug, vermehrt um die einschlägigen Erfahrungswerthe, der Abschnitt V anreihte. Als ich mich später, von fachmännischer Seite aufgefordert, dazu entschloss, die Arbeit zu veröffentlichen, fügte ich die Abschnitte I und VI und die Tabellen hinzu.

In dem Sammeln und Sichten des vorhandenen Materials bestand die Hauptarbeit, und daher trägt auch dieses Hand- und Hülfsbuch, gleich den meisten derartigen Büchern, den Charakter eines Sammelwerkes. So ist die gebrachte Entwicklung der Péclet'schen Formel nach den Vorlesungen des Herrn Geheimen Rath Professor Dr. Zeuner an der technischen Hochschule in Dresden, und die Theorie des Centralkernes nach den Vorlesungen des Herrn Geheimen Hofrathes Professor Dr. Fränkel ebendaselbst wiedergegeben.

Ferner wurden in grösserem Umfange folgende Quellen benutzt:

H. v. Reiche, Anlage und Betrieb der Dampfkessel, 3. Auflage.

O. Hüppner, Ueber die Erbauung der „Hohen Esse“ auf der Königlichen Halsbrückner Hütte bei Freiberg, nebst einigen anschliessenden, allgemeinen Betrachtungen (Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1890),

und sind anderweite Arbeiten, welche Berücksichtigung gefunden haben, an den betreffenden Stellen selbst genannt.

Im Uebrigen bin ich bestrebt gewesen, alle Entwicklungen möglichst elementar zu gestalten, sodass auch Fachgenossen, welche ihre Ausbildung auf einer höheren Gewerbeschule erhalten haben, denselben mit Leichtigkeit werden folgen können. Der Umstand, dass mehrere der Tabellen: „Querschnitte des Mauerwerkes für runde Schornsteine von durchaus gleicher Standfestigkeit“ über den Umfang einer Seite hinausgehen, brachte es mit sich, dass dieselben eingeschlagen werden müssen. Im Interesse einer bequemen Handhabung jener Tabellen aber erschien es unthunlich, diese Blätter zweiseitig zu bedrucken und so wurden, um die Einheitlichkeit des Ganzen zu wahren, alle Tabellen einseitig gedruckt. Diese Abweichung von dem bisher Ueblichen, dürfte bei dem Gebrauch des Buches als eine wesentliche Erleichterung empfunden werden.

Halsbrücke, im Februar 1896.

Der Verfasser.

Inhalts-Verzeichniss.

Abschnitt I.

Allgemeines über Brennmaterial, Verbrennung und Dampferzeugung (Seite 1—6).

Brennmaterialien. Verbrennung. Heizwerth. Verdampfung. Zahlen-Beispiel.

Abschnitt II.

Der Schornsteinzug (Seite 7—22).

Wirkungsweise des Schornsteines. Schornsteinhöhe. Druckverhältnisse in der Atmosphäre. Péclet'sche Formeln. Schornsteinzug. v. Reiche'sche Formeln. Zahlen-Beispiel.

Abschnitt III.

Die Standfestigkeit (Seite 23—31).

Winddruck. Moment des Winddruckes. Moment des Schornstein-Gewichtes. Schornstein-Gewicht und -Volumen, welches bei vorgeschriebener Standfestigkeit über einer beliebigen Stelle erforderlich ist; Querschnitt und Wandstärke des Mauerwerkes in beliebiger Höhe, bei vorgeschriebener Standsicherheit. Coefficienten des Winddruckes.

Abschnitt IV.

Die Beanspruchung des Mauerwerkes (Seite 32—50).

Beanspruchung des Mauerwerkes durch Eigenlast. Beanspruchung des Mauerwerkes durch Eigenlast und Winddruck, allgemeine Darstellung. Entwicklung des Centralkernes; Centralkern des Quadrates mit quadratischem Loch; Centralkern des gleichseitigen Achteckes mit achteckigem Loch; Centralkern des Kreisringes; Centralkern des vollen Quadrates, des vollen gleichseitigen Achteckes und des vollen Kreises; Centralkern des Quadrates mit achteckigem Loch; Centralkern des Quadrates mit Kreisloch; Centralkern des gleichseitigen Achteckes mit Kreisloch; Centralkern

des Quadrates mit durchgehendem Kanal. Beanspruchung des Mauerwerkes durch den Winddruck. Beanspruchung des Mauerwerkes durch Eigenlast und Winddruck, rechnerische Durchführung.

Abschnitt V.

Formeln und Erfahrungswerthe für den praktischen Gebrauch (Seite 51—72).

Aus und zu Abschnitt I. Brennmaterial, Verbrennung und Dampferzeugung (Seite 51—54).

Zur Verbrennung erforderliche Luftmenge. Menge der Rauchgase. Heizwerth. Gesammtwärme. Verdampfung. Tabelle der Temperaturen und der Gesammtwärme für Wasserdämpfe von 0 bis 12 Atmosphären Ueberdruck. Angaben für Steinkohlen von mittlerer Zusammensetzung.

Aus und zu Abschnitt II. Der Schornsteinzug (Seite 54—56).

Péclet'sche Formeln. Schornsteinzug in Millimeter Wassersäule. v. Reiche'sche Formeln. Absolute Temperaturen der äusseren Luft und der Schornsteingase. Brennmaterialverbrauch für 1 qm Rostfläche und Stunde.

Aus und zu Abschnitt III. Die Standfestigkeit (Seite 56—66).

Kritischer Winddruck. Schornstein von gleicher Standfestigkeit, a) Gewicht und Volumen des Schornsteins, b) Schornsteinquerschnitt, c) Wandstärke. Coefficienten des Winddruckes. Druck des senkrecht auftreffenden und des übereckwehenden Windes. Stabilitätsgrenze. Wandstärken. Schichtentabelle und Tabelle der Steinstärken für Mauerwerk aus Normalsteinen. Schornsteinsockel. Schornsteinkopf. Tabellen der Querschnitte für runde Schornsteine von durchaus gleicher Standfestigkeit, a) Einrichtung, b) Gebrauch. — Anhang: Zur Stabilitätsberechnung runder Schornsteine (Näherungsformel).

Aus und zu Abschnitt IV. Die Beanspruchung des Mauerwerkes (Seite 67—72).

Beanspruchung des Mauerwerkes durch Eigenlast und Winddruck, a) allgemeine Formeln, b) Centralkerne der gebräuchlichsten Schornsteinquerschnitte, c) Special-Formeln. Zulässige Beanspruchung des Baugrundes und Mauerwerkes auf Druck. Zulässige Beanspruchung des Mauerwerkes auf Zug. Beanspruchung des Mauerwerkes bei windseitig klaffender Fuge.

Abschnitt VI.

Beispiele (Seite 73—131).

1. Beispiel, Seite 73—85. Berechnung eines quadratischen Schornsteines von 0,600 m lichter Weite und 18 m Höhe.

2. Beispiel, Seite 85—95. Berechnung eines achteckigen Schornsteines von 2,250 m lichter Weite und 52 m Höhe.
3. Beispiel, Seite 95—108. Berechnung eines runden Schornsteines von 1,100 m lichter Weite und 25 m Höhe.
4. Beispiel, Seite 108—129. Untersuchung eines runden Schornsteines von 1,300 m lichter Weite und 30 m beziehungsweise 35 m Höhe. Untersuchung einer schiefstehenden Esse.
5. Beispiel, Seite 130—131. Untersuchung der Belastung des Baugrundes der „Hohen Esse“ zu Halsbrücke bei übereckwehendem Winde.

Schlussbemerkungen (Seite 132—134).

Tabellen.

Tabelle I—VII. Lichte Weite und Höhe der Schornsteine im Verhältniss zum Brennmaterialverbrauch in der Stunde.

Tabelle VIII – XXIII. Querschnitte des Mauerwerkes für runde Schornsteine von durchaus gleicher Standfestigkeit.

Tabelle XXIV – XLIII. Umfang und Flächeninhalt von Quadrat, gleichseitigem Achteck und Kreis; Wurzeln, Logarithmen und Reciproken für die Durchmesser, beziehentlich Zahlen $n = 1$ bis $n = 1000$.

Sachregister.

Anhang: Ankündigungen von Specialfirmen für Schornsteinbau.

Berichtigungen.

Seite 21, Zeile 9 von unten statt „Zweiflammenrohrkessel“ lies: „Zweiflammrohrkessel“.

Seite 37, Zeile 1 von unten statt „$\varrho = 2 \cdot \frac{c_1}{c_2} \cdot \cos 22^0 30^0 \cdot D \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right)$“

lies: „$\varrho = 2 \cdot \frac{c_1}{c_2} \cdot \cos 22^0 30' \cdot D \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right)$.“

Seite 38, Zeile 11 von unten statt „$x_1^2 + y_2^2 = \ldots$.“ lies: $x_1^2 + y_1^2 = \ldots$.“.

Seite 62, Zeile 7 von oben statt „Die am Ende dieses Buches angefügten Tabellen haben .... lies: „Die am Ende dieses Buches angefügten Tabellen VIII bis XXIII haben ....“.

Seite 63, Zeile 10 von oben statt „Tabelle V“ lies: „Tabelle XII“.

Seite 64, Zeile 11 von oben statt „Tabelle IV“ lies: Tabelle XI“.

Abschnitt I.

Allgemeines über Brennmaterial, Verbrennung und Dampferzeugung.

Brenn-materialien.

In allen unseren Brennmaterialien begegnen wir den drei Elementen:

Kohlenstoff (C),
Wasserstoff (H) und
Sauerstoff (O),

denen sich in vielen Kohlensorten als viertes Element der:

Schwefel (S)

beigesellt.

Verbrennung.

Die Verbrennung selbst ist ein chemischer Vorgang, ein sogenannter Oxydationsprocess, dadurch charakterisirt, dass Kohlenstoff, Wasserstoff und Schwefel mit Sauerstoff, der, wie schon erwähnt, zum Theil im Brennstoff selbst enthalten ist, zum grösseren Theil jedoch in Gestalt von atmosphärischer Luft zugeführt werden muss, chemische Verbindungen eingehen; und zwar vereinigen sich bei vollkommener Verbrennung:

Je 1 Atom Kohlenstoff mit 2 Atomen Sauerstoff zu Kohlensäure ($C O_2$),

je 2 Atome Wasserstoff mit 1 Atom Sauerstoff zu Wasser ($H_2 O$), und

je 1 Atom Schwefel mit 2 Atomen Sauerstoff zu schwefliger Säure ($S O_2$).

Da das Atomgewicht

des Kohlenstoffes rund 12,
des Wasserstoffes . . 1,
des Schwefels . rund 32 und
des Sauerstoffes „ 16

beträgt, so sind in der Kohlensäure ($C O_2$) 1 . 12 Gewichtstheile Kohlenstoff an 2 . 16 = 32 Gewichtstheile Sauerstoff gebunden, oder mit anderen Worten, 1 Gewichtstheil Kohlenstoff braucht zu seiner Verbrennung 32 : 12 = 8 : 3

Gewichtstheile Sauerstoff. Im Wasser (H_2O) kommen auf 2.1 Gewichtstheil Wasserstoff 1.16 Gewichtstheile Sauerstoff, woraus folgt, dass zur Verbrennung der Gewichtseinheit Wasserstoff 8 Gewichtseinheiten Sauerstoff nöthig sind, und ebenso hat man in der schwefligen Säure (SO_2) 1.32 Gewichtstheile Schwefel mit $2.16 = 32$ Gewichtstheilen Sauerstoff vereinigt, so dass auf 1 Gewichtstheil Schwefel 1 Gewichtstheil Sauerstoff entfällt.

Besteht 1 kg Brennmaterial aus:

C kg Kohlenstoff,
H kg Wasserstoff,
S kg Schwefel und
O kg Sauerstoff,

so kann man nach Vorstehendem sofort angeben, wieviel Kilogramm Sauerstoff zu seiner Verbrennung unbedingt erforderlich sind, nämlich:

$$(\frac{8}{3} \cdot C + 8 \cdot H + S - O)\,\text{kg}\ \text{Sauerstoff.}$$

In Wirklichkeit führen wir unseren Feuerungsanlagen nicht reinen Sauerstoff, sondern atmosphärische Luft zu, welche aus 23 Gewichtstheilen Sauerstoff und 77 Gewichtstheilen Stickstoff (N) besteht, woraus folgt, dass 1 kg Sauerstoff erst in 4,35 kg Luft enthalten ist.

Demnach bedarf es zur Verbrennung von 1 kg Brennmaterial Q kg Luft, welche man nach der Gleichung bestimmt:

$$1) \qquad Q = (\frac{8}{3} \cdot C + 8 \cdot H + S - O) \cdot 4{,}35\ \text{kg}.$$

Will man die betreffende Luftmenge nicht in Kilogrammen, sondern in Cubikmetern angeben, so hat man zu beachten, dass 1 cbm Luft von 0° Celsius und einer Pressung gleich 760 mm Quecksilbersäule 1,3 kg (genauer 1,29318 kg) wiegt, und man erhält:

$$V = \frac{Q}{1{,}3};$$

$$2) \qquad V = (\frac{8}{3} \cdot C + 8 \cdot H + S - O) \cdot 3{,}346\ \text{cbm}.$$

Das Gewicht der bei der Verbrennung von 1 kg Brennstoff entstehenden Gase setzt sich aus dem Gewicht der zugeführten Luft: $x.Q$ und aus dem Gewicht des Brennmateriales: 1 zusammen, ist also, unter Vernachlässigung der Verbrennungsrückstände

$$3) \qquad L_1 = (x.Q + 1)\ \text{kg}.$$

Je nachdem man einem Feuer gerade nur die theoretisch erforderliche Luftmenge, oder Luft im Ueberschuss zuführt, wird:

$$x \gtrless 1.$$

Gewöhnlich ist es üblich, den Brennmaterialverbrauch in Kilogrammen pro Stunde anzugeben; die weitere Durchführung unserer Rechnungen dagegen verlangt, dass wir das Gasgewicht kennen, welches einem Schornstein in der Secunde zu-, beziehungsweise ent-strömt. In diesem Falle führt die einfache Ueberlegung zu den Gleichungen:

$$4) \quad \begin{cases} L = \dfrac{B \cdot L_1}{3600}; \\ L = \dfrac{B \cdot (x \cdot Q + 1)}{3600}; \end{cases}$$

worin B der stündliche Kohlenverbrauch, L das dem Schornstein in der Secunde entströmende Gasgewicht in Kilogrammen ist.

Die Güte eines Brennmateriales wird nach dessen Heizwerth beurtheilt; *Heizwerth.* als Massstab des Heizwerthes dient die Wärme-Einheit (Calorie); es ist dies diejenige Wärmemenge, welche man einem Kilogramm Wasser von 0° Celsius zuführen muss, um dessen Temperatur um 1° zu erhöhen. Zur Feststellung des Heizwerthes giebt es zwei Wege, den des Experimentes — Untersuchung eines Brennmaterials mittelst des Calorimeters — und denjenigen der Rechnung. Wir wollen hier nur den letzteren Weg einschlagen und verweisen bezüglich des ersteren auf die kleine Schrift von Dr. Ferd. Fischer: „Taschenbuch für Feuerungstechniker".

Durch Versuche ist ermittelt, dass bei der Verbrennung von:

1 kg Kohlenstoff zu Kohlensäure . . . . . 8100 W-E.,
1 kg Wasserstoff zu Wasser von 0° Celsius . . 34200 „ „ und
1 kg Schwefel zu { schwefliger Säure und / Schwefelsäure } im Mittel 2500 „ „

frei werden.

Bestände demnach 1 kg eines Brennmaterials lediglich aus:

C kg Kohlenstoff,
H kg Wasserstoff und
S kg Schwefel,

so würde sein Heizwerth $(8100 \cdot C + 34200 \cdot H + 2500 \cdot S)$ Wärme-Einheiten betragen.

Bezüglich des in einem Brennmaterial enthaltenen Sauerstoffes geht man von der Annahme aus, dass derselbe bereits mit Wasserstoff vereinigt, als chemisch gebundenes Wasser auftritt. Je acht Gewichtstheile Sauerstoff binden, wie wir oben sahen, einen Gewichtstheil Wasserstoff, so dass bei dem Vorhandensein von O kg Sauerstoff $O:8$ kg Wasserstoff an der Verbrennung zu Wasser nicht mehr Theil nehmen können, wodurch unsere Formel die Gestalt erhält:

$$(8100 \cdot C + 34200 \cdot [H - \frac{O}{8}] + 2500 \cdot S).^{*})$$

Da es ferner unglaubhaft erscheint, dass sich das bei der Verbrennung bildende Wasser als Wasser von 0° Celsius niederschlägt, so bedarf die Zahl 34200 noch einer Berichtigung, und zwar hat man sich aus praktischen Gründen dahin geeinigt, vorauszusetzen, dass alles Wasser als Dampf von 20° Celsius entweicht.

Ein Kilogramm Dampf von 100° Celsius würde 637 W-E. entführen, während 1 kg Dampf von 20° Celsius nur: $(637 - 80 \cdot c_p)$ Wärme-Einheiten mit fortnimmt. In diesem Ausdruck ist $c_p = 0{,}4805$ die specifische Wärmemenge des überhitzten Dampfes bei gleichbleibendem Druck, und wir finden den durch 1 kg des betreffenden Wasserdampfes herbeigeführten Wärmeverlust zu: $(637 - 38{,}44) \backsimeq 600$ W-E. Jedem zur Verbrennung noch verfügbaren Kilogramm Wasserstoff entsprechen 9 kg Wasserdampf, oder $9 \cdot 600 = 5400$ verlorene Wärme-Einheiten, welche wir von dem Werth 34200 zu kürzen haben. Bedenkt man ferner, dass jedes Kilogramm des von dem Brennmaterial aufgesaugten Wassers ebenfalls 600 Wärme-Einheiten entführt, so ergiebt sich bei dem Vorhandensein von W kg hygroscopischen Wassers als endgiltige Gleichung für den Heizwerth eines Brennstoffes die Formel:

$$5) \qquad \mathfrak{H} = (8100 \cdot C + 28800 \cdot [H - \frac{O}{8}] + 2500 \cdot S - 600 \cdot W).$$

Der Verein deutscher Ingenieure und der Verband der Dampfkessel-Ueberwachungsvereine haben vorstehende Gleichung in folgender, etwas abgerundeter Gestalt zur Heizwerthbestimmung vorgeschlagen:

$$6) \qquad \mathfrak{H} = (8100 \cdot C + 29000 \cdot [H - \frac{O}{8}] + 2500 \cdot S - 600 \cdot W).$$

Die Abweichung beider Gleichungen ist so gering, dass sie für die Praxis keine Bedeutung hat.

*) Dulong'sche Formel.

Ver-dampfung.

Ist der Heizwerth eines Brennmaterials bestimmt, und kennt man die Zahl der Wärme-Einheiten (λ), welche dazu gehört, um 1 kg Wasser von 0° Celsius in Dampf von bestimmter Temperatur zu verwandeln, so weiss man sofort, wieviel Kilogramm Wasser man mit einem Kilogramm Brennstoff verdampfen kann:

$$7) \qquad \text{Verdampfung} = \frac{\mathfrak{H}}{\lambda}.$$

Man spricht von einer n-fachen Verdampfung eines Brennmateriales und versteht darunter die Möglichkeit, mit 1 kg des betreffenden Brennstoffes n kg Wasser verdampfen zu können.

Regnault hat auf Grund umfangreicher Versuche eine Gleichung aufgestellt, die uns in den Stand setzt, die Anzahl Wärme-Einheiten berechnen zu können, welche 1 kg Wasser von 0° Celsius zugeführt werden muss, um dasselbe in Dampf von t° Celsius zu verwandeln. Diese Gleichung lautet:

$$8) \qquad \lambda = 606{,}5 + 0{,}305 \cdot t.$$

Man bezeichnet mit λ die gesammte Verdampfungswärme, oder kurz die Gesammtwärme.

In untenstehender Tabelle*) ist die Temperatur und die Gesammtwärme für Wasserdämpfe von 0 bis 12 Atmosphären Ueberdruck angegeben.

Dampfspannung in Atmosphären Ueberdruck 1 A = 1 kg pr. 1 qcm q	Temperatur des Dampfes in Celsiusgraden t	Gesammtwärme in Wärme-Einheiten λ
0	99,088	636,722
1	119,570	642,969
2	132,798	647,003
3	142,820	650,060
4	150,991	652,552
5	157,944	654,673
6	164,028	656,529
7	169,459	658,185
8	174,379	659,686
9	178,886	661,060
10	183,053	662,331
11	186,985	663,515
12	190,573	664,625

*) Nach Zeuner: „Techn. Thermodynamik". 3. Auflage. Bd. II.

Beispiel. Für 1 kg mittlere Steinkohle von der Zusammensetzung:

Kohlenstoff:	$C = 0{,}81$ kg
Wasserstoff:	$H = 0{,}04$ kg
Sauerstoff:	$O = 0{,}08$ kg
Schwefel:	$S = 0{,}02$ kg
Wasser:	$W = 0{,}03$ kg
Asche:	$A = 0{,}02$ kg
Insgesammt:	1,00 kg

berechnet sich:

Die zur Verbrennung erforderliche Luftmenge:

Nach Gleichung 1) zu . . . . . $Q \backsimeq 10{,}5$ kg.

Nach Gleichung 2) zu . . . . . $V \backsimeq 8{,}0$ cbm.

Die sich entwickelnden Verbrennungsprodukte:

Nach Gleichung 3), wobei $x = 1$, zu . $L_1 = 11{,}5$ kg.

Der Heizwerth:

Nach Gleichung 5) beziehungsweise 6) zu $\mathfrak{H} = 7460$ W-E.

Die Verdampfung:

Nach Gleichung 7); wobei $\lambda = 650$ W-E., als eine: $\frac{\mathfrak{H}}{\lambda} = 11{,}48$-fache.

Hierbei ist ausdrücklich zu beachten, dass die vorstehend berechneten Werthe rein theoretische sind. Die gefundene Luftmenge ist zu klein, ebenso die Menge der Verbrennungsgase. Wir müssen in der Praxis Luft im Ueberschuss, etwa das doppelte Quantum zuführen, um eine gute Verbrennung zu erzielen. Die ermittelte Verdampfung ist zu hoch; hier spielt der Wirkungsgrad der Feuerungsanlage, welchen wir näherungsweise mit 0,6 ansetzen können, eine Rolle.

Unter Berücksichtigung des soeben Gesagten erhalten wir für 1 kg mittlere Steinkohle folgende Ziffern:

Zur Verbrennung sind .	21 kg Luft zuzuführen,
es bilden sich	22 kg Heizgase,
der Heizwerth beträgt .	7400—7500 W-E., und
die Verdampfung ist eine	6—7-fache.

Abschnitt II.

Der Schornsteinzug.

Wirkungsweise des Schornsteins.

Der Schornstein ist eine Saugvorrichtung. Als solche hat er erstens die Pressung im Verbrennungsraum niedriger zu halten, als der Druck der äusseren Luft in Höhe des Rostes ist, sodass die Letztere in Folge dieses Ueberdruckes durch die Brennmaterialschicht hindurchgepresst wird, und zweitens hat er die sich bildenden Verbrennungsprodukte wieder in die Atmosphäre zurückzuführen. Dies bedingt, dass wir die Schornsteinmündung in eine Höhe verlegen müssen, in welcher der Luftdruck geringer wird, als die Pressung im Feuerraum. Endlich ist auch darauf Rücksicht zu nehmen, dass die den Schornstein verlassenden Gase der Nachbarschaft nicht lästig oder gar schädlich werden können. Aus alledem erhellt, dass wir in der Folge mit der Schornsteinhöhe als einem wesentlichen Faktor zu rechnen haben.

Schornsteinhöhe.

Unter der Höhe eines Schornsteines aber kann Zweierlei verstanden werden, je nachdem man sich mit dem Schornstein als einer Saugvorrichtung, oder als einem Bauwerk befasst. In ersterem Falle ist die Schornsteinhöhe gleichbedeutend mit dem lothrechten Abstand der Schornsteinmündung von der Rostfläche, im zweiten Fall hat man unter Schornsteinhöhe die Erhebung des ganzen Baues über den Erdboden beziehungsweise über die Fundamentsohle zu verstehen. — So überragt z. B. die auf einem Berg erbaute „Hohe Esse“ der Königlichen Halsbrückner Hütte bei Freiberg in Sachsen den Erdboden um 140 m, die Fundamentsohle um 143 m, während ihre Mündung rund 200 m über den Rostflächen der zugehörigen Oefen liegt. Ihre Höhe beträgt demnach, sobald der Schornsteinzug in Frage kommt, 200 m. —

Als Höhe eines Schornsteines haben wir somit in diesem Abschnitt, welcher von der Zugerzeugung handelt, die lothrechte Entfernung von Schornsteinmündung und Rostfläche festzuhalten.

Druckverhältnisse in der Atmosphäre.

Der nun folgenden Untersuchung legen wir einen Schornstein zu Grunde, dessen Querschnitt constant und zwar gleich dem Querschnitt der Heizkanäle ist; ferner setzen wir voraus, dass die Temperatur der äusseren Luft in jeder Höhe die gleiche bleibt, und dass sich ebenso die Temperatur im Schornstein nicht ändert.

Bezeichnen wir dann mit:*)

h die Höhe eines Schornsteines,

f_0 dessen Querschnitt,

$T_a = (273 + t_a)$ die absolute Temperatur der äusseren Luft,

$T_s = (273 + t_s)$ die absolute Temperatur im geheizten Schornstein,

$R = 29{,}3$ die Constante des Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetzes,

p_0 den Luftdruck (oben) in Höhe der Schornsteinmündung,

p_u den Luftdruck (unten) in Höhe des Rostes,

p den Luftdruck in einer beliebigen Höhe $A\,B$,

γ das specifische Gewicht, und

v das specifische Volumen der atmosphärischen Luft in der nämlichen Höhe,

so ergiebt sich für den ungeheizten Schornstein der absolute Luftdruck in der Höhe $C\,D$ zu:

$$P = f_0\,(p + dp) = f_0 \cdot p + f_0 \cdot dh \cdot \gamma.$$

Zwischen dem specifischen Gewicht und dem specifischen Volumen aber besteht die Gleichung:

$$v \cdot \gamma = 1,$$

$$v = \frac{1}{\gamma},$$

$$\gamma = \frac{1}{v},$$

woraus folgt:

$$dh = \frac{dp}{\gamma} = v \cdot dp,$$

und da nach dem Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetz:

$$v \cdot p = R \cdot T_a,$$

so erhalten wir:

$$dh = R \cdot T_a \cdot \frac{dp}{p},$$

$$h = R \cdot T_a \cdot \int_{p_0}^{p_u} \frac{dp}{p},$$

9) $$h = R \cdot T_a \cdot ln\left(\frac{p_u}{p_0}\right).$$

*) Siehe Blatt I, Figur 1.

Péclet'sche Formeln.

Unter der weiteren Voraussetzung, dass der specifische Druck im Verbrennungsraum gleich demjenigen unter dem Rost ist, lässt sich die Péclet'sche Formel nach den Grundzügen der mechanischen Wärmetheorie, wie folgt, ableiten:

Zunächst verrichtet der Atmosphärendruck eine Arbeit A_1, indem er jede Secunde ein gewisses Luft- und Gasgewicht durch die Brennmaterialschicht hindurch, beziehungsweise aus derselben heraus in den Feuerraum drückt, sodass jenes Gasquantum mit dem Arbeitsvermögen A_1 in den Verbrennungsraum gelangt. Hier erfährt es eine plötzliche Temperaturerhöhung und weiter beim Durchströmen der Züge, in Folge Wärmeabgabe an den Kessel und an die Wände der Heizkanäle eine allmähliche Temperaturerniedrigung, bis herab zur Schornsteintemperatur. Der ganze Vorgang lässt sich als eine Expansion bei gleichbleibendem Druck auffassen, deren Grenzen durch Anfangs- und Endtemperatur bestimmt sind. Die hierbei freiwerdende Arbeit sei A_2. Während des Aufsteigens im Schornstein verringert sich der specifische Druck, die Temperatur dagegen bleibt unverändert. Die Rauchgase expandiren bei constanter Temperatur, und das Ergebniss ist ein weiterer Arbeitsgewinn A_3.

Dieser dreifachen, positiven Arbeit steht eine zweifache, negative Arbeit gegenüber; nämlich die Arbeit A_4, welche erforderlich ist, um das Gasgewicht auf die Höhe der Schornsteinmündung zu heben, und die Arbeit A_5, welche zur Ueberwindung des Widerstandes, den die Atmosphäre dem Austritt der Rauchgase entgegensetzt, aufgebraucht wird.

Die algebraische Summe dieser Arbeiten ist aber gleich dem Arbeitsvermögen A, welches den ausströmenden Gasen noch innewohnt, es ist:

$$10) \qquad \Sigma A = A.$$

Nach Einführung folgender Bezeichnungen als: *)

p_i = Pressung (innen) im Verbrennungsraum,

L = Gasgewicht, welches dem Feuerraum in der Secunde zuströmt,

f_u = Querschnitt des zuströmenden Gases,

u_u = Geschwindigkeit des einströmenden Gases,

u_0 = Geschwindigkeit des ausströmenden Gases,

v_u = specifisches Volumen der Verbrennungsgase in der Höhe des Rostes,

v_s = specifisches Volumen der Verbrennungsgase im Fusse des Schornsteines,

*) Siehe Blatt I, Figur 1.

v_0 = specifisches Volumen der Verbrennungsgase in der Höhe der Schornsteinmündung, und

$g = 9{,}81$ = Beschleunigung der Schwere,

lassen sich obige Arbeiten durch nachstehende Gleichungen ausdrücken:

$$A_1 = f_u \cdot p_1 \cdot u_u ,$$

und da wir laut Voraussetzung:

$$p_1 = p_u$$

zu setzen haben, ist:

$$A_1 = f_u \cdot p_u \cdot u_u ,$$
$$A_1 = L \cdot v_u \cdot p_u ,$$
11 a) $$A_1 = L \cdot R \cdot T_s .$$

Ferner wird:

$$A_2 = (L \cdot v_s - L \cdot v_u) \cdot p_u ,$$
$$A_2 = L \cdot (v_s \cdot p_u - v_u \cdot p_u),$$
11 b) $$A_2 = L \cdot R \cdot (T_s - T_u);$$

$$A_3 = L \cdot \int_{v_s}^{v_0} p \cdot dv, \text{*)}$$

$$A_3 = L \cdot \int_{v_s}^{v_0} p \cdot v \cdot \frac{dv}{v},$$

$$A_3 = L \cdot R \cdot T_s \cdot ln\left(\frac{v_0}{v_s}\right),$$

11 c) $$A_3 = L \cdot R \cdot T_s \cdot ln\left(\frac{p_u}{p_0}\right);$$

11 d) $$A_4 = - L \cdot h;$$

$$A_5 = - f_0 \cdot p_0 \cdot u_0 ,$$
$$A_5 = - L \cdot v_0 \cdot p_0 ,$$
11 e) $$A_5 = - L \cdot R \cdot T_s ,$$

und endlich ist:

11 f) $$A = \frac{L \cdot u_0^2}{2g}.$$

Durch Addition der Gleichungen 11 a) bis 11 e) erhält man mit Berücksichtigung von Gleichung 10):

*) Siehe auch Blatt I, Figur 2.

$$\frac{u_0^2}{2g} = R \cdot T_a \cdot ln\left(\frac{p_a}{p_0}\right) - h$$

$$\frac{u_0^2}{2g} = \left(\frac{R \cdot T_a \cdot ln \cdot \left[\frac{p_a}{p_0}\right] - h}{h}\right) \cdot h,$$

und indem man in die Klammer für h den Werth aus Gleichung 9) einsetzt ergiebt sich:

12) $$\frac{u_0^2}{2g} = \left(\frac{T_a - T_a}{T_a}\right) \cdot h.$$

Diese Gleichung besagt, dass die Ausflussgeschwindigkeit der Rauchgase von der Höhe des Schornsteins und der Differenz zwischen Schornsteintemperatur und Temperatur der äusseren Luft abhängig ist.

Das Gasquantum L, welches in jeder Secunde den Schornstein verlässt, kann auch ausgedrückt werden durch die Gleichung:

$$L = f_0 \cdot u_0 \cdot \gamma_0,$$

worin γ_0 das specifische Gewicht der Schornsteingase in Höhe der Essenmündung bedeutet.

Es ist aber:

$$\gamma_0 = \frac{1}{v_0},$$

$$\gamma_0 = \frac{p_0}{R \cdot T_a},$$

und folglich wird:

$$L = \frac{f_0 \cdot u_0 \cdot p_0}{R \cdot T_a},$$

und, indem man annäherungsweise $p_a = p_0 = p$ setzt, erhält man:

13) $$L = \frac{f_0 \cdot u_0 \cdot p}{R \cdot T_a}.$$

In der bisherigen Entwicklung haben die Widerstände, welche zunächst bei dem Durchgang der Gase durch Rost und Brennmaterialschicht und sodann beim Passiren der Züge und des Schornsteines zu überwinden sind, keine Berücksichtigung gefunden. Wir müssen dieselben noch in Rechnung ziehen und wollen mit:

$\zeta_1 \cdot \frac{u_0^2}{2g}$ die dem erstgenannten Widerstand,

und mit:

$\zeta \cdot \frac{l+h}{d_0} \cdot \frac{u_0^2}{2g}$ die dem zweitgenannten Widerstand entsprechende, verlorene Druckhöhe bezeichnen.

Zur weiteren Erklärung diene, dass $\zeta_1 = 12$, und $\zeta = \frac{1}{20}$, je ein von Péclet festgestellter Erfahrungscoefficient, l die Länge der Heizkanäle, d_0 die kleinste lichte Weite der Esse,*) und $l+h$ der gesammte Weg der Verbrennungsgase bis zur Schornsteinmündung ist.

Auf Grund des Vorstehenden nimmt die Gleichung 12) die erweiterte Gestalt an:

$$\frac{T_s - T_a}{T_a} \cdot h = \frac{u_0^2}{2g} \cdot \left(1 + \zeta_1 + \zeta \cdot \frac{l+h}{d_0}\right),$$

es folgt:

14) $$u_0 = \sqrt{\frac{2g \cdot h}{1 + \zeta_1 + \zeta \cdot \frac{l+h}{d_0}} \cdot \frac{T_s - T_a}{T_a}},$$

und diesen Werth für u_0 in Gleichung 13) eingesetzt, findet sich:

$$L = \frac{f_0 \cdot p}{R \cdot T_s} \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot h}{1 + \zeta_1 + \zeta \cdot \frac{l+h}{d_0}} \cdot \frac{T_s - T_a}{T_a}}$$

oder was dasselbe ist:

15) $$L = \frac{f_0 \cdot p}{R \cdot T_a} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h}{1 + \zeta_1 + \zeta \cdot \frac{l+h}{d_0}} \cdot \frac{T_a \cdot (T_s - T_a)}{T_s^2}}.$$

Wie leicht zu übersehen, nimmt L seinen grössten Werth an, wenn $\frac{T_s - T_a}{T_s^2}$ ein Maximum wird. Setzen wir diesen Ausdruck gleich z, so ergiebt sich derjenige Werth von T_s, welcher L zu einem Maximum macht, aus der Gleichung:

$$\frac{dz}{dT_s} = \frac{T_s^2 - (T_s - T_a) \cdot 2 \cdot T_s}{T_s^4} = 0.$$

16) $$T_s = 2 \cdot T_a.$$

In Worten: Die Saugwirkung eines Schornsteines erreicht ihren Höhepunkt, sobald die absolute Temperatur der Schornsteingase doppelt so gross ist, als die absolute Temperatur der äusseren Luft.

*) Siehe Blatt II, Figur 1.

Beträgt demnach die Temperatur der äusseren Luft 15° Celsius, so wird ein Schornstein, dessen Gase mit 303° Celsius abziehen, seine grösste Saugleistung aufzuweisen haben.*) Dieses Resultat stimmt insofern mit der Wirklichkeit gut überein, als bei den meisten unserer Kesselanlagen die in den Schornstein gelangenden Heizgase noch eine Temperatur von ca. 300° Celsius besitzen.

Betrachten wir jetzt einen Schornstein, dessen Gase nacheinander mit 200°, 300° und 400° Celsius entweichen, während die Temperatur der äusseren Luft (15° Celsius) unverändert bleibt, so finden wir, dass der Ausdruck:

$$\frac{T_a \cdot (T_s - T_a)}{T_s^{\,2}}$$ der Reihe nach die Werthe:

$$\frac{1}{4{,}199}, \quad \frac{1}{4{,}000} \text{ und } \frac{1}{4{,}086} \text{ annimmt.}$$

Vorstehende Zahlen aber sind so wenig von einander verschieden, dass wir, ohne einen grossen Fehler zu begehen, für praktische Zwecke schreiben können:

$$\frac{T_a \cdot (T_s - T_a)}{T_s^{\,2}} = \text{const.} = \frac{1}{4}.$$

Ferner ist:

Nach dem Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetz:

$$p \cdot v = R \cdot T_a = \frac{p}{\gamma};$$

$$\gamma = \frac{p}{R \cdot T_a} \backsimeq 1{,}3,$$

und wie schon erwähnt:

Nach Péclet:

$$\zeta_1 = 12, \quad \zeta = \frac{1}{20}.$$

Setzt man diese Werthe in die Gleichung 15) ein, so folgt:

$$L = 1{,}3 \cdot f_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h}{1 + 12 + \frac{1}{20} \cdot \frac{l+h}{d_0}} \cdot \frac{1}{4}},$$

und umgeformt:

17a) $$L = 12{,}8759 \cdot f_0 \cdot \sqrt{\frac{d_0 \cdot h}{l + h + 260 \cdot d_0}}.$$

*) $t_a = 15°$ Celsius; $T_a = 273 + 15 = 288°$ Celsius;
$T_s = 2\,T_a = 576°$ Celsius, und somit wird $t_s = T_s - 273 = 303°$ Celsius.

Für die in der Praxis vorkommenden Schornsteinquerschnitte wird:

$f_0 = 1{,}0000 \cdot d_0^2$ (quadratischer Schornstein),

$f_0 = 0{,}8284 \cdot d_0^2$ (achteckiger Schornstein), und

$f_0 = 0{,}7854 \cdot d_0^2$ (runder Schornstein).

Wir erhalten allgemein:

17b) $$L = \varkappa_1 \cdot \sqrt{\frac{d_0^5 \cdot h}{l + h + 260 \cdot d_0}},$$

und zwar ist:

$\varkappa_1 = 12{,}8759$ für quadratische Schornsteine,

$\varkappa_1 = 10{,}6664$ für achteckige Schornsteine, und

$\varkappa_1 = 10{,}1127$ für runde Schornsteine.

Die Gleichungen 17a) und 17b) können zur Untersuchung vorhandener Schornsteine benutzt werden, wenn es sich beispielsweise darum handelt, festzustellen, ob ein solcher für die geplante Vergrösserung einer Kesselanlage noch ausreichend ist. Um dagegen zu einer Formel zu gelangen, welche sich zur Berechnung neuer Schornsteinanlagen eignet, müssen wir die Gleichung 17b) nach d_0 auflösen. Es folgt:

$$d_0^5 = \frac{1}{\varkappa_1^2} \cdot \frac{l + h + 260 \cdot d_0}{h} \cdot L^2,$$

18) $$d_0 = \varkappa_2 \cdot \sqrt[5]{\frac{l + h + 260 \cdot d_0}{h} \cdot L^2}.$$

Hierin erhält $\varkappa_2$ folgende Werthe:

$\varkappa_2 = 0{,}3598$ für quadratische Schornsteine,

$\varkappa_2 = 0{,}3880$ „ achteckige Schornsteine, und

$\varkappa_2 = 0{,}3963$ „ runde Schornsteine.

Das Gewicht L der in einer Secunde dem Schornstein entströmenden Gase berechnet sich nach den Gleichungen 3) und 4); die Länge l der Heizkanäle ist bekannt, und die Höhe h des Schornsteines wird vorläufig angenommen. Sonach sind ausser d_0 alle Grössen gegeben; störend wirkt nur, dass die Unbekannte auf beiden Seiten der Gleichung auftritt. Ueber dieses Hinderniss kommt man hinweg, wenn man d_0 unter dem Wurzelzeichen zunächst ganz vernachlässigt. Man erhält so für die lichte Weite des Schornsteines einen ersten, zu kleinen Werth d_0^{I}, welcher seinerseits unter die Wurzel gebracht, einen zweiten, mit der wirklichen Grösse von d_0 schon besser übereinstimmenden Werth d_0^{II} liefert. Verfährt man mit d_0^{II} wie vorher mit d_0^{I}, so folgt ein dritter Werth d_0^{III}, welcher in gleicher

Weise zur Bestimmung eines vierten Werthes d_0^{IV} dienen kann, u. s. w. Eine Vergleichung der aus diesen Rechnungen hervorgehenden Zahlen lehrt, dass d_0^{III} und d_0^{IV} nahezu gleichwerthig sind, für praktische Zwecke aber unbedenklich einander gleichgesetzt werden können, woraus hervorgeht, dass:

$$d_0^{III} = d_0^{IV} = d_0.$$

Wir haben oben die Höhe des Schornsteines willkürlich angenommen. Je kleiner wir dieselbe wählen, desto grösser wird, wie die Gleichung 18) erkennen lässt, die lichte Weite des Schornsteines, und umgekehrt; d. h. theoretisch sollte eine niedrige, weite Esse ebenso gut ziehen, wie eine für die gleichen Verhältnisse berechnete hohe und enge Esse. Dies trifft jedoch nicht zu, wir geben, und zwar mit Recht, dem höheren Schornstein den Vorzug und gehen erfahrungsgemäss mit dem Verhältniss: „Schornsteinhöhe durch lichte Weite" nicht gern unter die Zahl 20 herunter, so dass die Gleichung 18) stets im Zusammenhang mit der weiteren Gleichung:

19) $$\frac{h}{d_0} \geq 20,$$

zu betrachten ist, auch sind Schornsteinhöhen unter 16 m aus praktischen Gründen zu verwerfen.

Die Ursache liegt darin, dass der störende Einfluss des Windes bei einem niedrigen, weiten Schornstein grösser ist, als wie bei einem hohen und engen Schornstein.

Obgleich, wie wir sahen, die Bestimmung von d_0 aus Gleichung 18) keine Schwierigkeiten bereitet, so ist doch die drei- bis viermalige Rechnung unbequem. Man kann dieselbe vermeiden, wenn man den Einfluss der Heizkanäle zunächst ausser Acht lässt und die Schornsteinhöhe als ein Vielfaches der oberen lichten Weite darstellt. Den so berechneten Schornstein erhöht man sodann, damit er unbeschadet seiner Wirkungsweise den Widerstand der Heizkanäle ebenfalls überwinden kann, um die vierfache lichte Weite. Setzen wir also:

$$l = 0,$$
$$h' = y \cdot d_0,$$

so ergiebt sich:

20a)
$$\begin{cases} d_0 = \varkappa_2 \cdot \sqrt[5]{\frac{260+y}{y}} \cdot L^2, \\ h = (y+4) \cdot d_0. \end{cases}$$

Dadurch aber, dass man die gebräuchlichsten Werthe von y in die Gleichungen 20a) einsetzt, erhält man äusserst einfache Formeln.

Es folgt:

20b) Für: $y = 16$, $d_0 = \varkappa_3 \cdot L^{0,4}$, $h = 20 \cdot d_0$

20c) Für: $y = 21$, $d_0 = \varkappa_4 \cdot L^{0,4}$, $h = 25 \cdot d_0$,

20d) und für: $y = 26$, $d_0 = \varkappa_5 \cdot L^{0,4}$, $h = 30 \cdot d_0$.

In den meisten Fällen wird man mit einer der drei Gleichungen: 20b), 20c) oder 20d) auskommen. Die Werthe für die Coefficienten $\varkappa$ sind der beifolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle der Coefficienten $\varkappa$.

Schornsteinhöhe	Schornsteinform		
	quadratisch	achteckig	rund
$h = 20 \cdot d_0$; $\varkappa_3 =$	0,6360	0,6858	0,7005
$h = 25 \cdot d_0$; $\varkappa_4 =$	0,6045	0,6518	0,6658
$h = 30 \cdot d_0$; $\varkappa_5 =$	0,5813	0,6268	0,6402

Das Gewicht der Heizgase bestimmt man nach Péclet unter der Voraussetzung, dass dem Verbrennungsprocess das Doppelte der theoretisch erforderlichen Luftmenge zugeführt wird.

Schornsteinzug. Entsprechend den beiden Hauptaufgaben, welche einem Schornstein als Saugvorrichtung zufallen, kann man die Schornsteinhöhe in zwei Theile zerlegen; in einen Theil $\eta \cdot h$, der dazu dient, den im Verbrennungsraum nöthigen Unterdruck zu erzeugen, und in einen Theil $(1 - \eta) \cdot h$, welcher die Widerstände bei Fortbewegung der Heizgase in den Kanälen und dem Schornstein bis zu ihrem Austritt in die Atmosphäre überwinden hilft. Nach von Reiche, dessen Entwicklungen wir nunmehr folgen, bedarf es zur Ueberwindung der Reibungswiderstände an den Wänden der Heizkanäle und der Esse einer Schornsteinhöhe: $h_1 = 2{,}5 \cdot d_0$; zur Ueberwindung der Widerstände, welche plötzliche Querschnittsveränderungen in den Zügen, sowie Richtungsänderungen auf dem Wege der Gase hervorrufen, einer Schornsteinhöhe:

$h_2 = 2{,}5 \cdot d_0$, und zur Uebertragung der für den Austritt in die Atmosphäre erforderlichen, lebendigen Kraft auf die Rauchgase einer Schornsteinhöhe: $h_3 = 1{,}0 \cdot d_0$. Es wird also:

$$(1-\eta)\cdot h = h_1 + h_2 + h_3 = 6 \cdot d_0;$$

21) $$\eta \cdot h = h - 6 \cdot d_0.$$

Das heisst: Von der Höhe h eines Schornsteines hat man, wenn es sich darum handelt, den Ueberdruck der äusseren Luft in der Höhe des Rostes zu bestimmen, die sechsfache lichte Weite der Esse abzuziehen.

Unsere nächste Aufgabe ist es, die Differenz $(p_u - p_i)$ zwischen der Pressung im Verbrennungsraum und dem Luftdruck in Höhe des Rostes zu berechnen.

Auf Grund der Gesetze für die Druckverhältnisse in der Atmosphäre haben, analog der Gleichung 9), folgende Beziehungen Giltigkeit, und zwar:

Ausserhalb des Schornsteines:

$$\eta \cdot h = R \cdot T_a \cdot ln\left(\frac{p_u}{p_0}\right),$$
$$\eta \cdot h = R \cdot T_a \cdot (ln\, p_u - ln\, p_0),$$
$$ln\, p_u = \frac{\eta \cdot h}{R} \cdot \frac{1}{T_a} + ln\, p_0.$$

Innerhalb des Schornsteines:

$$\eta \cdot h = R \cdot T_s \cdot ln\left(\frac{p_i}{p_0}\right),$$
$$\eta \cdot h = R \cdot T_s \cdot (ln\, p_i - ln\, p_0),$$
$$ln\, p_i = \frac{\eta \cdot h}{R} \cdot \frac{1}{T_s} + ln\, p_0.$$

Sonach wird:

22) $$ln\left(\frac{p_u}{p_i}\right) = \frac{\eta \cdot h}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s}\right).$$

Setzt man jetzt, zu einem Kunstgriff die Zuflucht nehmend,

$$\frac{p_u}{p_i} = 1 + \frac{p_u - p_i}{p_i} = 1 + x,$$

und entwickelt man den Ausdruck $ln\,(1+x)$ als unendliche Reihe:

$$ln\,(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \frac{x^5}{5} - + \ldots,$$

so folgt schliesslich, mit Rücksicht darauf, dass: $x = \frac{p_u - p_i}{p_i}$ eine sehr kleine Grösse darstellt, und die Pressung p_i nur wenig von der Zahl 1 abweicht,

$$ln(1+x) \backsim x,$$

$$ln\left(\frac{p_u}{p_i}\right) = \frac{p_u - p_i}{p_i},$$

23) $$ln\left(\frac{p_u}{p_i}\right) = p_u - p_i.$$

Bezeichnen wir die gesuchte Pressungsdifferenz $p_u - p_i$ mit p_δ, so findet sich durch die Vereinigung der Gleichungen 22) und 23):

$$p_\delta = \frac{\eta \cdot h}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_s}\right),$$

oder was dasselbe ist:

24) $$p_\delta = \frac{h - 6 \cdot d_0}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_s}\right).$$

Gebrauch ist es, diesen Ueberdruck der äusseren Luft nicht in Atmosphären, sondern in Millimetern Wassersäule zu messen, und da eine Wassersäule von 10333 mm Höhe dem Drucke einer Atmosphäre entspricht, haben wir die Gleichung 24) mit 10333 zu multipliciren, um so diesen Ueberdruck in Millimetern Wassersäule zu erhalten. Es wird:

25) $$h_\delta = \frac{10333 \cdot (h - 6 \cdot d_0)}{29{,}3} \cdot \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_s}\right).$$

v. Reiche'sche Formeln.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft durch eine Lücke der Brennmaterialschicht hindurchtritt, berechnet sich mit Hülfe der bekannten Formel für die Ausflussgeschwindigkeit zu:

$$u_u = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_4},$$

und da entsprechend der Gleichung 9):

$$h_4 = R \cdot T_u \cdot ln\left(\frac{p_u}{p_i}\right),$$

$$h_4 = R \cdot T_u \cdot p_\delta,$$

$$h_4 = \eta \cdot h \cdot \left(1 - \frac{T_u}{T_s}\right)$$

ist, so folgt:

26) $$u_u = \sqrt{2 \cdot g \cdot \eta \cdot h \cdot \left(1 - \frac{T_u}{T_s}\right)}.$$

Nun hängt aber das vom Schornstein in der Secunde angesaugte Luftvolumen: V' von dreierlei ab; von der Beschaffenheit der Brennmaterialschicht, von der Zuflussgeschwindigkeit der Luft: u_u und von der Grösse der Rostfläche: f_r.

Allgemein können wir schreiben:

$$V' = \alpha \cdot u_u \cdot f_r,$$

und mit Berücksichtigung der Gleichung 26) ergiebt sich:

$$27) \qquad V' = \alpha \cdot f_r \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \eta \cdot h \cdot \left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right)}.$$

Löst man diese Gleichung nach $\eta \cdot h$ auf, so erhält man die nutzbare Saughöhe des Schornsteines zu:

$$\eta \cdot h = \frac{1}{\alpha^2} \cdot \frac{V'^2}{f_r^2} \cdot \frac{1}{2 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right)}.$$

Da aber die in der Secunde angesaugte Luft in einem bestimmten Verhältniss zum Brennmaterialverbrauch überhaupt, also auch zu demjenigen in der Stunde steht, so kann man diese Beziehung in die Form kleiden:

$$\frac{1}{\alpha} \cdot V' = \beta \cdot B,$$

und es wird:

$$\eta \cdot h = \frac{\beta^2}{2 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right)} \cdot \left(\frac{B}{f_r}\right)^2,$$

oder:

$$28) \qquad \eta \cdot h = \varphi \cdot \left(\frac{B}{f_r}\right)^2 = 0{,}00277 \cdot \left(\frac{B}{f_r}\right)^2.$$

Der Coefficient: $\varphi = 0{,}00277$ ist durch Versuche ermittelt worden.

Beträgt das Volumen der in der Secunde angesaugten Luftmenge V' Cubikmeter, so müssen in der gleichen Zeit aus dem Schornstein

$$V'' = V' \cdot \frac{T_s}{T_a} \text{ Cubikmeter Gase entweichen,}$$

und da ferner auch: $V'' = f_0 \cdot u_0$ ist, so erhält man für die Ausflussgeschwindigkeit der Rauchgase die Gleichung:

$$u_0 = \frac{\alpha \cdot f_r}{f_0} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \eta \cdot h \cdot \left[\left(\frac{T_s}{T_a}\right)^2 - \left(\frac{T_s}{T_a}\right)\right]},$$

$$u_0 = \alpha \cdot \sqrt{\left(\frac{T_s}{T_a}\right)^2 - \left(\frac{T_s}{T_a}\right)} \cdot \frac{f_r}{f_0} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \eta \cdot h},$$

oder:

$$29) \qquad u_0 = m \cdot \frac{f_r}{f_0} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \eta \cdot h},$$

worin m eine vorläufig noch unbekannte Temperaturfunktion darstellt.

Seine weiteren Untersuchungen erstreckt von Reiche nur auf runde Schornsteine, und zwar nimmt er analog dem Vorgang, dass eine Luftblase im Wasser als Kugel aufsteigt, an, dass die specifisch leichteren Heizgase ebenfalls als Gaskugeln in der Atmosphäre sich erheben. Damit sich aber der Gasstrom im Schornstein stetig fortbewegt und nicht etwa abreisst, ist die Bedingung zu erfüllen, dass die Geschwindigkeit des Auftriebes gleich der Ausflussgeschwindigkeit wird, oder, was auf dasselbe hinausläuft, dass der Auftrieb und der Widerstand, welchen die äussere Luft dem Austritt der Rauchgase entgegensetzt, einander gleich sind.

Eine Luftkugel vom Durchmesser d_0 wiegt: $\frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d_0^3 \cdot \gamma$; eine Heizgaskugel von dem nämlichen Durchmesser dagegen: $\frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d_0^3 \cdot \gamma \cdot \frac{T_a}{T_s}$, und somit ergiebt sich der Auftrieb im Schornstein zu:

30) $$\text{Auftrieb} = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d_0^3 \cdot \gamma \cdot \left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right).$$

Der Widerstand, den die austretende Gaskugel zu überwinden hat, ist direkt proportional dem Schornsteinquerschnitt: f_0, dem Quadrat der Ausflussgeschwindigkeit: u_0^2 und dem specifischen Gewicht der Luft: γ, sowie umgekehrt proportional der doppelten Beschleunigung der Schwere.

Wir erhalten einen Ausdruck von der Gestalt: $\zeta \cdot f_0 \cdot \frac{u_0^2}{2 \cdot g} \cdot \gamma$ und gelangen zu der Gleichung

31) $$\text{Widerstand} = \zeta \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_0^2 \cdot \frac{u_0^2}{2 \cdot g} \cdot \gamma.$$

Hierin bedeutet ζ einen der Kugelform entsprechenden Coefficienten.*)
Durch Gleichsetzung der Formeln 30) und 31) folgt:

$$\frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d_0^3 \cdot \gamma \cdot \left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right) = \zeta \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_0^2 \cdot \frac{u_0^2}{2 \cdot g} \cdot \gamma,$$

oder: $$u_0 = \sqrt{\frac{2}{3 \cdot \zeta} \cdot \left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right)} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot d_0}, \text{ und}$$

32) $$u_0 = n \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot d_0}.$$

Diese Gleichung enthält ebenso, wie die identische Gleichung 29) eine vor der Hand noch nicht bestimmte Temperaturfunktion: n.

*) Siehe diesbezüglich auch die Anmerkung auf Seite 29 und 30, Abschnitt III.

Nach Gleichung 29) aber war:

$$29) \qquad u_0 = m \cdot \frac{f_r}{\frac{\pi}{4} \cdot d_0^2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \eta \cdot h},$$

sonach wird:

$$\frac{m \cdot f_r}{\frac{\pi}{4} \cdot d_0^2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \eta \cdot h} = n \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot d_0}, \quad \text{oder}$$

$$33) \qquad \eta \cdot h = \frac{n^2}{m^2} \cdot \frac{\pi^2}{16} \cdot \frac{d_0^5}{f_r^2},$$

und indem wir in diese Gleichung den Werth für: $\eta \cdot h$ aus Formel 28) einsetzen, finden wir:

$$\frac{n^2}{m^2} \cdot \frac{\pi^2}{16} \cdot \frac{d_0^5}{f_r^2} = \varphi \cdot \left(\frac{B}{f_r}\right)^2,$$

$$d_0 = \sqrt[5]{\varphi \cdot \frac{m^2}{n^2} \cdot \frac{16}{\pi^2}} \cdot \sqrt[5]{B^2},$$

$$d_0 = k \cdot B^{0,4},$$

$$34a) \qquad d_0 = 0{,}09 \cdot B^{0,4}.$$

Den so berechneten Schornsteindurchmesser will von Reiche als den zulässig kleinsten angesehen wissen. Er empfiehlt, für den Fall, dass man bei dem Entwurf einer Esse auf eine etwaige, spätere Betriebsvergrösserung Rücksicht zu nehmen hat, die Gleichung zu benutzen:

$$34b) \qquad d_0 = 0{,}1 \cdot B^{0,4}.$$

Beispiel. Wir werden nunmehr, um einen Ueberblick zu gewinnen, in wie weit die Péclet'schen Formeln mit den von Reiche'schen übereinstimmen, für die nachstehende, beliebig herausgegriffene Kesselanlage einen runden Schornstein berechnen.

Daten der Kesselanlage.

Anzahl der Kessel: 2 Stück Zweiflammenrohrkessel

Hauptmasse jedes Kessels: Länge: 10,000 m.
Durchmesser: 2,200 m.

Heizfläche: je 100 qm, in Summe 200 qm.

Rostfläche: je 3 qm, in Summe 6 qm.

Brennmaterial: Art: Mittlere Steinkohle.
Verbrauch: 80 kg pro 1 qm Rostfläche und Stunde,
480 kg in der Stunde, und
0,1333 kg in der Secunde.

Luftzufuhr: Das Doppelte der theoretisch erforderlichen Luftmenge.
Rauchgase: 2,933 kg in der Secunde.
Länge der Heizkanäle: Für jeden Kessel etwa die dreifache Kessellänge, in Summe $l = 64{,}4$ m.

Auf Grund dieser Angaben findet man:

I. Nach der Péclet'schen Formel, Gleichung 18), unter der Annahme, dass $h = 24$ m.

18) $$d_0 = \varkappa_2 \cdot \sqrt[5]{\frac{l + h + 260 \cdot d_0}{h}} \cdot L^2,$$

$$d_0 = 1{,}048 \text{ m},$$
$$h = 24{,}000 \text{ m}.$$

II. Nach der vereinfachten Péclet'schen Formel, Gleichung 20a), unter der Annahme, dass: $y = 19$.

20a) $$\begin{cases} d_0 = \varkappa_2 \cdot \sqrt[5]{\frac{260 + y}{y}} \cdot L^2, \\ h = (y + 4) \cdot d_0, \end{cases}$$

$$d_0 = 1{,}043 \text{ m},$$
$$h = 23{,}989 \backsim 24{,}000 \text{ m}.$$

III. Nach den von Reiche'schen Formeln, Gleichungen 34a), 28) und 21)

34a) $$d_0 = 0{,}09 \cdot B^{0{,}4},$$

28) $$\eta \cdot h = 0{,}00277 \cdot \left(\frac{B}{f_r}\right)^2, \text{ und}$$

21) $$h = \eta \cdot h + 6 \cdot d_0,$$

$$d_0 = 1{,}064 \text{ m},$$
$$h = 24{,}112 \text{ m}.$$

Die Zusammenstellung der gewonnenen Resultate lehrt, dass die benutzten Formeln gleichwerthig sind, denn es folgte der Reihe nach:

$$d_0 = 1{,}048 = 1{,}043 = 1{,}064 \text{ m},$$
$$h = 24{,}000 = 23{,}989 = 24{,}112 \text{ m},$$

wofür wir abgerundet schreiben können:

$$d_0 = 1{,}100 \text{ m},$$
$$h = 24{,}000 \text{ m}.$$

Abschnitt III.

Die Standfestigkeit.

Winddruck.

In der Folge werden wir uns mit dem Schornstein als einem Bauwerk beschäftigen. Wir verlangen von einer Esse, dass sie feststeht, Standfestigkeit besitzt, damit sie vom Wind nicht umgeweht wird, und haben sie dementsprechend zu bauen. Es ist sonach unsere Aufgabe in diesem Abschnitt, die Bedingungen festzustellen, welche bei dem Bau eines Schornsteines zu erfüllen sind, damit derselbe dem Anprall des, in der betreffenden Gegend beobachteten, stärksten Windes mit der nöthigen Sicherheit zu widerstehen vermag.

Bezeichnet:

D_0, beziehentlich D_0' die obere, äussere Weite,
D, beziehentlich D' die untere, äussere Weite,
H die Höhe eines Schornsteines in Metern, und
w den specifischen Winddruck*) in Kilogrammen,

so projicirt sich (vergleiche Blatt II), die vom Wind getroffene Schornsteinfläche, auf der zur Windrichtung senkrechten Ebene als ein Trapez mit den parallelen Seiten: D und D_0, beziehungsweise: D' und D_0', und der Höhe H, dessen Flächeninhalt: $\frac{D+D_0}{2} \cdot H$, beziehentlich $\frac{D'+D_0'}{2} \cdot H$ beträgt.

Der gesammte Winddruck aber, welchem die Schornsteinsäule zu widerstehen hat, berechnet sich nach der Formel:

35a) $$W = \zeta \cdot w \cdot \frac{D+D_0}{2} \cdot H, \text{ oder}$$

35b) $$W' = \zeta' \cdot w \cdot \frac{D'+D_0'}{2} \cdot H.$$

Hierin bedeuten ζ und ζ' Coefficienten, welche von der Form des Schornsteinquerschnittes und von der Windrichtung abhängig sind.

*) Druck des Windes auf 1 qm einer zur Windrichtung senkrechten Ebene.

Moment des Winddruckes. Es sei vorausgeschickt, dass der senkrecht zu einer Seite des Schornsteinquerschnittes auftreffende Wind ein Druckmaximum erzeugt, es ist stets:

$$W \geqq W',$$

und demnach auch das Moment des Windes:

$$W \cdot s \geqq W' \cdot s.$$

Dem Moment: $W' \cdot s$ steht bei dem quadratischen und achteckigen Schornstein ein grösseres, bei dem runden Schornstein ein gleiches Gewichtsmoment gegenüber, da im ersten und zweiten Falle der Hebelarm des Gewichtes nicht mehr: $\frac{D}{2}$, sondern: $1{,}414 \cdot \frac{D}{2}$, beziehentlich: $1{,}083 \cdot \frac{D}{2}$ beträgt, so dass wir im Laufe der weiteren Untersuchung die Gleichung 35b) unbeachtet lassen können.

Das zu untersuchende Moment des Winddruckes wird also:

$$M_W = W \cdot s,$$

und da:

$$s = \frac{D + 2D_0}{D + D_0} \cdot \frac{H}{3},$$

so folgt:

36) $$M_W = \zeta \cdot w \cdot (D + 2D_0) \cdot \frac{H^2}{6}.$$

Moment des Schornsteingewichtes. Vernachlässigt man die Bindekraft des Mörtels, d. h. nimmt man an, dass der Schornstein aus losen Steinen aufgebaut ist, so wird derselbe durch den Winddruck umgekippt werden, sobald das Moment des Winddruckes das Gewichtsmoment des Schornsteines überschreitet; er bleibt stehen, so lange sein Gewichtsmoment grösser oder gleich dem Moment des Winddruckes ist.

Bedeutet:

G (kg) das Gewicht,

V (cbm) das Volumen, und

γ (kg) das specifische Gewicht der Schornsteinsäule,

so beträgt das Gewichtsmoment des Schornsteines:

37) $$M_G = G \cdot \frac{D}{2} = V \cdot \gamma \cdot \frac{D}{2},$$

und durch Gleichsetzung der Formeln 36) und 37) ergiebt sich:

38a) $$G = \zeta \cdot w \cdot \left(\frac{D + 2D_0}{D}\right) \cdot \frac{H^2}{3},$$

38b) $$V = \frac{\zeta \cdot w}{\gamma} \cdot \left(\frac{D + 2D_0}{D}\right) \cdot \frac{H^2}{3}.$$

Schornstein-Gewicht und Volumen, welches bei vorgeschriebener Standfestigkeit über einer beliebigen Stelle erforderlich ist; Querschnitt und Wandstärke des Mauerwerks in beliebiger Höhe, bei vorgeschriebener Stabilität.

Die Gleichungen 38a) und 38b) bieten die Möglichkeit, bei vorgeschriebener Stabilitätsgrenze das Gewicht, beziehungsweise das Volumen des über einer beliebigen Stelle noch erforderlichen Mauerwerkes zu berechnen. Es gilt nunmehr, eine weitere Gleichung aufzustellen, mittelst der man für einen Schornstein von gleicher Standfestigkeit den Querschnitt des Mauerwerkes in jeder gewünschten Höhe bestimmen kann. Zu diesem Zwecke denken wir uns den Schornstein um ein kleines Stück: Δx verlängert. (Siehe Blatt III, Figur 1.) Dadurch erfährt sowohl das Moment des Winddruckes, als auch das Gewichtsmoment eine Zunahme; und aus der Bedingung, dass der Zuwachs des einen Momentes gleich demjenigen des anderen sein soll, folgt die nachstehende Gleichung 39).

Es beträgt zunächst die Zunahme des Winddruck-Momentes:

$$\Delta M_W = W \cdot \Delta x + \zeta \cdot w \cdot [(D + k \cdot \Delta x) + 2D] \cdot \frac{\overline{\Delta x}^2}{6},$$

diejenige des Gewichtsmomentes:

$$\Delta M_G = G \cdot \frac{k}{2} \cdot \Delta x + F \cdot \Delta x \cdot \gamma \cdot \left(\frac{D + k \cdot \Delta x}{2}\right),$$

und unter Vernachlässigung der Glieder, welche Δx in höherer Potenz enthalten, folgt:

$$W \cdot \Delta x = G \cdot \frac{k}{2} \cdot \Delta x + \frac{F \cdot D \cdot \gamma}{2} \cdot \Delta x,$$

39)
$$F = \frac{2}{D \cdot \gamma} \cdot \left(W - \frac{k}{2} \cdot G\right).$$

Hierin bedeutet:

F den mittleren Querschnitt des Mauerwerkes an der Stelle Δx, und

k die Verjüngung der Esse auf 1 m Höhe, bestimmt durch die Gleichung: $D = D_0 + k \cdot H$.

Der Werth für: W berechnet sich nach Gleichung 35a), derjenige für: G nach Gleichung 38a).

Aus dem Querschnitt des Mauerwerkes lässt sich ohne Weiteres die Wandstärke: δ ableiten, und zwar ergiebt sich (siehe Blatt III, Figur 2):

Für den quadratischen Querschnitt:

$$F = 1 \cdot D^2 - 1 \cdot (D - 2\delta)^2,$$

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - \frac{F}{1}}\right).$$

Für den achteckigen Querschnitt:

$$F = a \cdot D^2 - a \cdot (D - 2\delta)^2,$$

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - \frac{F}{a}} \right);$$

worin $a = 2 \cdot \tan. 22^0\ 30' = 0{,}8284.$

Für den Kreisquerschnitt:

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 - \frac{\pi}{4} \cdot (D - 2\delta)^2,$$

$$\delta = \frac{1}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - \frac{F}{\frac{\pi}{4}}} \right).$$

Oder es wird allgemein:

$$40) \qquad \delta = \frac{1}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - \frac{F}{c}} \right),$$

und zwar ist zu setzen:

$c = 1{,}0000$ für den quadratischen,
$c = 0{,}8284$ „ „ achteckigen, und
$c = 0{,}7854$ „ „ kreisförmigen Querschnitt.

Die Gleichung 40) hat praktisch keinen grossen Werth, sie wurde nur der Vollständigkeit halber entwickelt; doch kann man sich ihrer bedienen, wenn es sich darum handelt, festzustellen, welche Wandstärke eine Schornsteinsäule von bestimmter Standfestigkeit an ihrer Basis erhalten muss.

Coefficienten des Winddruckes.

Sobald wir jetzt den Werth der in den Gleichungen 35a) und 35b) auftretenden Coefficienten ξ und ξ' kennen, sind wir in der Lage, für jede gegebene Stabilitätsgrenze eine Schornsteinsäule von gleicher Standfestigkeit zu entwerfen.

Zur Ermittelung dieser Coefficienten führt folgender Weg.

Der Druck des Windes auf eine zur Windrichtung senkrechte Ebene ist erfahrungsgemäss:

Direkt proportional:

Der Fläche: f,
der Dichte der Luft: γ_1 und
dem Quadrat der Geschwindigkeit: v^2.

Umgekehrt proportional:

Der doppelten Beschleunigung der Schwere: $2.g$.

Demnach lässt sich der specifische Winddruck auch schreiben:

$$w = \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2g}.$$

Ferner deckt sich der Ausdruck: $\left(\frac{D+D_0}{2}\right) \cdot H$ in Gleichung 35a), welcher die Projektion der Schornsteinsäule auf eine zur Windrichtung senkrechte Ebene darstellt, mit der vorstehend eingeführten Bezeichnung: f, so dass die Gleichung 35a) die neue Form erhält:

$$41) \qquad W = \zeta \cdot f \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2g}.$$

Bevor wir dazu übergehen, den Coefficienten ζ direkt aus der Körperform auf analytischem Wege abzuleiten, wollen wir folgende Aufgabe lösen (vergleiche Blatt III, Figur 3):

„Wie stark drückt der Wind auf eine ebene Fläche von der Länge: s, und der Höhe: 1, welche mit der Windrichtung den Winkel $(90 - \alpha)^0$ einschliesst?"

Die Geschwindigkeit: v liefert parallel zu s die Componente: $v \cdot \sin \alpha$, senkrecht dazu die Componente: $v \cdot \cos \alpha$, welch Letztere einen Druck:

$$N = s \cdot \gamma_1 \cdot \frac{(v \cdot \cos \alpha)^2}{2 \cdot g}$$

erzeugt, der senkrecht zu der Fläche steht. Dieser Normaldruck besitzt in der Richtung des Windes eine Componente: $W = N \cdot \cos \alpha$, oder:

$$42) \qquad W = s \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \cos^3 \alpha.$$

Wenden wir diesen Satz (siehe Blatt III, Figur 4) auf ein quadratisches Prisma von der Seitenlänge: $s = f$ und der Höhe: 1 an, so folgt:

$$\alpha = 0^0,$$

$$W = f \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = \zeta \cdot f \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g},$$

$$43a) \qquad \zeta = 1.$$

Fällt dagegen die Richtung des Windes in die Richtung einer Diagonale, so haben wir:

$$\alpha = 45^0,$$

$$f = 2 \cdot s \cdot \cos \alpha,$$

$$W' = 2 \cdot s \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \cos^3 \alpha,$$

$$W' = f \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \cos^2 \alpha = \zeta' \cdot f \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g},$$

woraus sich ergiebt:

$$\zeta' = \cos^2 \alpha,$$

$$43b) \qquad \zeta' = \frac{1}{2} = 0{,}50.$$

Für ein reguläres, achteckiges Prisma von ebenfalls der Höhe: 1 findet sich:

Wenn der Wind normal zu einer Seite auftrifft:

$$\alpha = 45^0,$$

$$f = s \cdot (1 + 2\cos\alpha),$$

$$W = s \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot (1 + 2\cos^3\alpha),$$

$$W \quad f \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{1 + 2\cos^3\alpha}{1 + 2\cos\alpha} = \xi \cdot f \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g};$$

$$\xi = \frac{1 + 2 \cdot \cos^3\alpha}{1 + 2 \cdot \cos\alpha},$$

44a) $$\xi = 0{,}70711.$$

Wenn der Wind übereck weht:

$$\alpha_1 = 67^0\,30',$$

$$\alpha_2 = 22^0\,30',$$

$$f = 2 \cdot s \cdot (\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2),$$

$$W' = 2 \cdot s \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot (\cos^3\alpha_1 + \cos^3\alpha_2),$$

$$W' = f \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{\cos^3\alpha_1 + \cos^3\alpha_2}{\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2} = \xi' \cdot f \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g};$$

$$\xi' = \frac{\cos^3\alpha_1 + \cos^3\alpha_2}{\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2},$$

44b) $$\xi' = 0{,}64645.$$

Bei einem Kreiscylinder vom Durchmesser: f und der Höhe: 1 müssen wir von einem Bogenelement ausgehen.

Der Winddruck auf ein solches wird:

$$dW = ds \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \cos^3\alpha.$$

Es folgt nun:

$$W = \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \int \cos^3\alpha \cdot ds,$$

und da:

$$\cos\alpha = \frac{dx}{ds},$$

erhalten wir:

$$W = \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \int \frac{dx^3}{ds^2}.$$

Dieses Integral gestaltet sich in Polarcoordinaten handlicher. Wir haben:

$$x = r \cdot \sin \varphi,$$
$$dx = r \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi,$$
$$ds = r \cdot d\varphi$$

und gelangen so für den Winddruck zu der Gleichung:

$$W = 2 \cdot r \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^3 \varphi \cdot d\varphi,$$

$$W = f \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - \sin^2 \varphi) \cdot d \sin \varphi,$$

$$W = f \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left[\sin \varphi - \frac{\sin^3 \varphi}{3} \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = \zeta \cdot f \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g},$$

aus welcher folgt:

$$\zeta = \left[\sin \varphi - \frac{\sin^3 \varphi}{3} \right]_0^{\frac{\pi}{2}},$$

45) $$\zeta = \frac{2}{3} = 0{,}66667.$$

Nach Ermittelung der Werthe für ζ und ζ' können wir die auf Seite 24 ausgesprochene Behauptung, dass der senkrecht zu einer Schornsteinfläche auftreffende Wind einen grösseren Druck erzeugt, als ein in Richtung der Diagonale des Schornsteinquerschnittes wehender, beweisen.

Anmerkung. Im Abschnitt II, Seite 20, begegneten wir, wo es sich darum handelte, den Widerstand festzustellen, welchen die Atmosphäre dem Austritt einer, den Schornstein verlassenden Gaskugel entgegensetzt, dem Coefficienten ζ für die Kugel. Wir wollen hier, im Anschluss an die oben stehenden Entwicklungen, den Werth dieses Coefficienten noch nachträglich bestimmen. Zunächst wird nach Figur 4, Blatt III:

$$dW = 2 \cdot \pi \cdot x \cdot ds \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \cos^3 \alpha,$$
$$W = 2\pi \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \int x \cdot \cos^3 \alpha \cdot ds.$$

In Polarcoordinaten ausgedrückt ist:

$$x = r \cdot \sin \varphi,$$
$$dx = r \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi,$$
$$ds = r \cdot d\varphi,$$
$$\cos \alpha = \frac{dx}{ds} = \cos \varphi,$$

Wir fanden allgemein:

35a) $$W = \zeta \cdot w \cdot \frac{D + D_0}{2} \cdot H,$$

35b) $$W' = \zeta' \cdot w \cdot \frac{D' + D_0'}{2} \cdot H.$$

Es ist aber:

Für den quadratischen Schornstein:

$$W = 1 \cdot w \cdot \frac{D + D_0}{2} \cdot H,$$

$$W' = \frac{1}{2} \cdot w \cdot \frac{D' + D_0'}{2} \cdot H,$$

und da:

$$D' = \frac{D}{\cos 45^0} = D \cdot \sqrt{2},$$

$$D_0' = \frac{D_0}{\cos 45^0} = D_0 \cdot \sqrt{2},$$

so folgt:

$$W' = 0{,}7071 \cdot w \cdot \frac{D + D_0}{2} \cdot H,$$

46) $$W' = 0{,}7071 \cdot W.$$

---

und diese Werthe in die Gleichung für W eingesetzt, ergeben:

$$W = 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^3 \varphi \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi,$$

$$W = -2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^3 \varphi \cdot d \cos \varphi,$$

$$W = 2 \cdot f \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \int_{\frac{\pi}{2}}^{0} \cos^3 \varphi \cdot d \cos \varphi,$$

$$W = 2 \cdot f \cdot \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \left[\frac{\cos^4 \varphi}{4} \right]_{\frac{\pi}{2}}^{0} = \zeta \cdot f \ \gamma_1 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g},$$

woraus folgt:

$$\zeta = \frac{1}{2} \cdot \left[\cos^4 \varphi \right]_{\frac{\pi}{2}}^{0},$$

$$\zeta = \frac{1}{2} = 0{,}50.$$

Für den achteckigen Schornstein wird:

$$W = 0{,}70711 \cdot w \cdot \frac{D + D_0}{2} \cdot H,$$

$$W' = 0{,}64645 \cdot w \cdot \frac{D' + D_0'}{2} \cdot H.$$

Es ist:

$$D' = \frac{D}{\cos 22^0 30'} = \frac{D}{0{,}92388},$$

$$D_0' = \frac{D_0}{\cos 22^0 30'} = \frac{D_0}{0{,}92388},$$

und demnach:

$$W' = 0{,}6997 \cdot w \cdot \frac{D + D_0}{2} \cdot H,$$

47) $$W' = 0{,}9895 \cdot W.$$

Der Coefficient ζ ist für die verschiedenen Körperformen auch auf dem Wege des Versuches ermittelt worden.

Nach F. R. von Lössl*) beträgt:

$\zeta = 1{,}00$ für quadratische,

$\zeta = 0{,}83$ für achteckige, und

$\zeta = 0{,}78$ für runde Schornsteine.

Ferner giebt von Reiche,**) aus englischen Quellen geschöpft, nachstehende Zahlen:

$\zeta = 1{,}00$ für quadratische,

$\zeta = 0{,}65$ für achteckige, und

$\zeta = 0{,}50$ für runde Schornsteine,

und gerade diese Werthe haben in der Praxis vielfache Anwendung gefunden.

Tabelle der Coefficienten ζ und ζ'.

Quelle		Schornsteinform		
		quadratisch	achteckig	rund
F. R. v. Lössl	ζ	1	0,83	0,78
Gleichung 43a), 44a) und 45)	ζ	1	0,71	0,67
v. Reiche	ζ	1	0,65	0,50
Gleichung 43b), 44b) und 45)	ζ'	0,5	0,65	0,67

*) Vergleiche auch Centralblatt der Bauverwaltung. 1885. Seite 203.

**) Anlage und Betrieb der Dampfkessel. III. Auflage. 1886. Band I, Seite 79.

Abschnitt IV.

Die Beanspruchung des Mauerwerkes.

Beanspruchung des Mauerwerkes durch Eigenlast.

Für den Fall der Windstille wird das Mauerwerk eines Schornsteins nur auf Druck beansprucht, und zwar ist dieser Druck in allen Theilen eines Horizontalschnittes gleich gross. Bezeichnet daher F den Flächeninhalt eines solchen Schnittes, auf welchem das Gewicht G der darüber befindlichen Schornsteinsäule lastet, so beträgt der specifische Druck an dieser Stelle:

Beanspruchung des Mauerwerkes durch Eigenlast und Winddruck; allgemeine Darstellung.

$$48) \qquad p = \frac{G}{F}.$$

Anders gestalten sich die Verhältnisse in einem vom Wind getroffenen Schornstein. Ein solcher ist einem Stab vergleichbar, der auf Druck und auf Biegung in Anspruch genommen wird.

Entwicklung des Centralkernes.

Als Sonderfall wollen wir eine abgestumpfte Pyramide betrachten, deren Achse lothrecht zur Windrichtung*) steht. Auf dem beliebig angenommenen Horizontalschnitt $a\,b\,c\,d$ (vergleiche Blatt IV, Figur 1), ruht das Gewicht G des darüber befindlichen Theiles; der Winddruck auf jenen Theil sei W. Beide Belastungen geben die Resultante R, welche die Ebene $a\,b\,c\,d$ im Punkte A schneidet. Bringt man den Angriffspunkt der Resultante R nach A, zerlegt diese rückwärts in die Horizontalcomponente W, deren Richtung durch den Punkt A und den Schwerpunkt S bestimmt ist und in die Vertikalcomponente G, und transportirt man nun alle Kräfte nach dem Punkt S, so ergiebt sich (siehe Blatt IV, Figur 2), eine Druckkraft G im Schwerpunkt S und ein Kräftepaar G, welches bestrebt ist, den Querschnitt $a\,b\,c\,d$ um die Achse $B\,C$ zu drehen. Die Schubkraft W dagegen sucht den Querschnitt in seiner Ebene zu verschieben. In vielen Fällen ist es statthaft, die durch W hervorgerufene Schubspannung gegenüber der Biegungsspannung zu vernachlässigen; von ihrer Grösse kann man sich jederzeit Rechenschaft geben, wenn man die Beanspruchung gegen Abscheeren: t aus der Gleichung:

*) Horizontal wehender Wind.

$$W = F \cdot t,$$

49) $$t = \frac{W}{F},$$

berechnet, und den gefundenen Werth mit der für Mauerwerk zulässigen Schubspannung vergleicht.*)

Wir lassen die Kraft W fernerhin ausser Acht und verfolgen den Einfluss, welchen die Druckkraft G und das Kräftepaar G auf unseren Querschnitt ausüben.

Zunächst wirke die Kraft G allein. Dieselbe wird den Querschnitt in Folge der Elasticität des Mauerwerkes um ein kleines Stück parallel nach unten verschieben, so dass derselbe aus der Lage 1 in die Lage 2 gelangt. (Vergleiche Blatt IV, Figur 3). Das nunmehr in Thätigkeit tretende Kräftepaar dreht den Querschnitt um einen bestimmten Winkel, es resultirt die Lage 3, und somit stellt sich die Gesammtwirkung als Drehung um eine Achse $B_1 C_1$ dar, welche nicht durch den Schwerpunkt S, sondern durch einen Punkt S_1 geht, dessen Lage vorläufig unbekannt ist. Dabei wurde stillschweigend vorausgesetzt, dass der Querschnitt $a\,b\,c\,d$ auch nach der Einwirkung von Kraft und Kräftepaar ein ebener geblieben.

Es gilt jetzt, den Zusammenhang zwischen der Achse $B_1 C_1$ und dem Punkte A zu ermitteln. Dem Charakter nach ist $B_1 C_1$ eine neutrale Achse, da auf der einen Seite von ihr nur Druck, auf der anderen nur Zug stattfindet; der Punkt A ist der Angriffspunkt der Resultante sämmtlicher auf den Querschnitt $a\,b\,c\,d$ wirkenden, äusseren Kräfte. Wir legen durch den Schwerpunkt unseres Querschnittes ein beliebiges, rechtwinkliges Coordinatensystem und setzen die Lage der neutralen Achse als bekannt voraus. (Siehe Blatt IV, Figur 4.)

Bezeichnen wir nun mit dl die Dicke des Querschnittes $a\,b\,c\,d$ und mit φ den Winkel, welchen der Querschnitt nach der Biegung mit seiner ursprünglichen Lage einschliesst, so können wir die specifische Spannung eines in der Entfernung z von der neutralen Achse befindlichen Flächenelementes dF ohne Weiteres angeben. Dieselbe ist das Produkt aus der relativen Längenänderung $\frac{z \cdot \varphi}{dl}$ und dem Elasticitätsmodul E.

50) $$\mathfrak{S}_z = \frac{z \cdot \varphi}{dl} \cdot E.$$

*) Nach Bauschinger beträgt die Bruchbelastung für Schub bei Cementmörtel 27—33 kg für 1 qcm.

Die Bedingungen für das Gleichgewicht, dass einerseits die algebraische Summe der vertikalen Kräfte, und andererseits die algebraische Summe der statischen Momente gleich Null sein muss, — die Horizontalkräfte haben wir vernachlässigt, — führen zu folgenden Gleichungen:

$$G = \int \mathfrak{S}_z \cdot dF,$$

$$G = \frac{\varphi}{dl} \cdot E \cdot \int z \cdot dF,$$

$$G \cdot x_1 = \frac{\varphi}{dl} \cdot E \cdot \int x \cdot z \cdot dF,$$

$$G \cdot y_1 = \frac{\varphi}{dl} \cdot E \cdot \int y \cdot z \cdot dF,$$

woraus folgt:

$$51) \quad \begin{cases} x_1 = \dfrac{\int x \cdot z \cdot dF}{\int z \cdot dF}, \\ y_1 = \dfrac{\int y \cdot z \cdot dF}{\int z \cdot dF}. \end{cases}$$

Hierin bedeuten: x_1 und y_1 die Coordinaten des Punktes A.

Bezeichnet Θ den Winkel, welchen die neutrale Achse $B_1 C_1$ mit der Abscissenachse einschliesst, und e die Entfernung der neutralen Achse vom Schwerpunkt S, so wird:

$$z = y \cdot \cos \Theta + x \cdot \sin \Theta - e,$$
$$\int z \cdot dF = \cos \Theta \cdot \int y \cdot dF + \sin \Theta \cdot \int x \cdot dF - e \cdot \int dF,$$
$$\int x \cdot z \cdot dF = \cos \Theta \cdot \int x \cdot y \cdot dF + \sin \Theta \cdot \int x^2 \cdot dF - e \cdot \int x \cdot dF,$$
$$\int y \cdot z \cdot dF = \cos \Theta \cdot \int y^2 \cdot dF + \sin \Theta \cdot \int x \cdot y \cdot dF - e \int y \cdot dF.$$

Aus dem Umstand aber, dass unsere Coordinatenachsen Schwerachsen sind, ergiebt sich:

$$\int x \cdot dF = 0,$$
$$\int y \cdot dF = 0, \text{ und}$$
$$\int z \cdot dF = -e \int dF = -e \cdot F.$$

Treffen wir ferner die Wahl, dass unsere vorläufig willkürlich angenommenen Schwerachsen Hauptträgheitsachsen werden, und bezeichnen wir den auf die Abscissenachse bezogenen Trägheitshalbmesser mit a, den auf die Ordinatenachse bezogenen dagegen mit b, so erhalten wir noch folgende Vereinfachungen:

Es ist:

$$J_x = \int y^2 \cdot dF = a^2 \cdot F,$$
$$J_y = \int x^2 \cdot dF = b^2 \cdot F, \text{ und}$$
$$\int x \cdot y \cdot dF = 0.$$

Setzt man nunmehr alle diese Werthe in die Gleichung 51) ein, so folgt:

$$52) \quad \begin{cases} x_1 = -\dfrac{b^2 \cdot \sin \Theta}{e}, \\ y_1 = -\dfrac{a^2 \cdot \cos \Theta}{e}. \end{cases}$$

Die Gleichungen 52) lassen sich noch etwas einfacher schreiben, sobald man die Strecken m und n einführt, welche die neutrale Achse auf den Hauptträgheitsachsen abschneidet; es wird dann (vergleiche Blatt IV, Figur 5):

$$e = m \cdot \sin \Theta = n \cdot \cos \Theta,$$

und somit:

$$53) \quad \begin{cases} x_1 = -\dfrac{b^2}{m}, \\ y_1 = -\dfrac{a^2}{n}. \end{cases}$$

In den Gleichungen 52) und 53) sind entweder x_1 und y_1, oder e und Θ die Unbekannten. Das negative Vorzeichen der Coordinaten des Punktes A besagt, dass derselbe, in Bezug auf die neutrale Achse, stets im dritten Quadranten liegt.

Verlangt man, und im Baufach ist dies vielfach Erforderniss, dass ein Querschnitt nur einer Art Beanspruchung unterliegt, so folgt daraus die Bedingung, dass die neutrale Achse ausserhalb des Querschnittes fallen muss, oder denselben im Grenzfall höchstens berühren darf. Der geometrische Ort der Punkte A, welche zu den berührenden, neutralen Achsen gehören, umschliesst den Centralkern.

In Nachstehendem wollen wir den Centralkern für die bei Schornsteinen am häufigsten vorkommenden Querschnitte ableiten.

Centralkern des Quadrates mit quadratischem Loch.

Für das Quadrat mit quadratischem Loch gestaltet sich die Rechnung wie folgt (siehe auch Blatt V, Figur 1).

Es ist:

Das Trägheitsmoment: $J_x = J_y = J$,

$$J = \frac{1}{12} \cdot (D^4 - d^4);$$

der Flächeninhalt: $F = (D^2 - d^2)$,

und somit:

$$a^2 = b^2 = \frac{J}{F} = \frac{1}{12} \cdot (D^2 + d^2).$$

Hat die neutrale Achse nacheinander die Lagen:

I—I, II—II, III—III und IV—IV,

so wird:

Im ersten Fall:

$$m = \frac{D}{2},$$

$$n = \infty,$$

$$x_1 = -\frac{b^2}{m} = -\frac{1}{6} \cdot D \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right),$$

$$y_1 = -\frac{a^2}{n} = 0.$$

Im zweiten Fall:

$$m = \infty,$$

$$n = \frac{D}{2},$$

$$x_1 = -\frac{b^2}{m} = 0,$$

$$y_1 = -\frac{a^2}{n} = -\frac{1}{6} \cdot D \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right).$$

Im dritten Fall:

$$m = -\frac{D}{2},$$

$$n = \infty,$$

$$x_1 = -\frac{b^2}{m} = +\frac{1}{6} \cdot D \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right),$$

$$y_1 = -\frac{a^2}{n} = 0.$$

Im vierten Fall:

$$m = \infty,$$

$$n = -\frac{D}{2},$$

$$x_1 = -\frac{b^2}{m} = 0,$$

$$y_1 = -\frac{a_2}{n} = +\frac{1}{6} \cdot D \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right).$$

Wir erhalten als Centralkern ein Quadrat, dessen Ecken in die Coordinatenachsen fallen. Der dem Centralkern umschriebene, beziehungsweise eingeschriebene Kreis besitzt einen Halbmesser:

54a)
$$\left\{\begin{array}{l} P=\frac{1}{6}\cdot D\cdot\left(1+\left[\frac{d}{D}\right]^2\right), \\ \varrho=\frac{1}{6\cdot\sqrt{2}}\cdot D\cdot\left(1+\left[\frac{d}{D}\right]^2\right). \end{array}\right.$$

Centralkern des gleichseitigen Achteckes mit achteckigem Loch.

Das gleichseitige Achteck mit achteckigem Loch (siehe Blatt V, Figur 2) besitzt:

Die Trägheitsmomente: $J_x = J_y = J$,

$$J = 0{,}054736\cdot(D^4 - d^4),$$
$$J = c_1\cdot(D^4 - d^4),$$

und den Flächeninhalt: $F = 0{,}8284\,(D^2 - d^2)$,

$$F = c_2\cdot(D^2 - d^2).$$

Es folgt: $$a^2 = b^2 = \frac{J}{F} = \frac{c_1}{c_2}\cdot(D^2 + d^2).$$

Den Lagen: I—I, II—II, III—III und IV—IV der neutralen Achse entsprechen die Punkte A_I, A_{II}, A_{III} und A_{IV} auf den Coordinatenachsen, welche von dem Ursprung um:

$$P = 2\cdot\frac{c_1}{c_2}\cdot D\cdot\left(1+\left[\frac{d}{D}\right]^2\right)$$

entfernt sind.

Legen wir durch unser Achteck ein zweites Paar Hauptträgheitsachsen $\xi-\xi$ und $\eta-\eta$, und bestimmen wir die Punkte A_1, A_2, A_3 und A_4, welche zu den neutralen Achsen 1—1, 2—2, 3—3 und 4—4 gehören, so beträgt deren Entfernung vom Coordinatenanfang wiederum:

$$P = 2\cdot\frac{c_1}{c_2}\cdot D\cdot\left(1+\left[\frac{d}{D}\right]^2\right).$$

Der Centralkern unseres Achteckes ist demnach ein gleichseitiges Achteck, dessen Ecken in die Coordinatenachsen fallen. Der Radius des dem Centralkern umschriebenen, beziehentlich derjenige des eingeschriebenen Kreises nimmt den Werth an:

54b)
$$\left\{\begin{array}{l} P = 2\cdot\frac{c_1}{c_2}\cdot D\cdot\left(1+\left[\frac{d}{D}\right]^2\right), \\ \varrho = 2\cdot\frac{c_1}{c_2}\cdot\cos 22^0 30^0\cdot D\cdot\left(1+\left[\frac{d}{D}\right]^2\right). \end{array}\right.$$

Hierin ist:

$$2 \cdot \frac{c_1}{c_2} = 0{,}13215,$$

$$2 \cdot \frac{c_1}{c_2} \cdot \cos 22^0\,30' = 0{,}12209.$$

Centralkern des Kreisringes.

Die Untersuchung des Kreisringes führt zu folgendem Ergebniss (siehe Blatt V, Figur 3):

Es ist:

$$J_x = J_y = J,$$

$$J = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4),$$

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2),$$

und folglich:

$$a^2 = b^2 = \frac{J}{F} = \frac{1}{16} \cdot (D^2 + d^2).$$

Unter Benutzung der Gleichungen 52) erhalten wir:

$$x_1 = -\frac{b^2 \cdot \sin \Theta}{e} = -\frac{1}{8} \cdot D \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right) \cdot \sin \Theta,$$

$$y_1 = -\frac{a^2 \cdot \cos \Theta}{e} = -\frac{1}{8} \cdot D \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right) \cdot \cos \Theta.$$

Durch Quadriren und Addiren aber folgt:

$$x_1^2 + y_1^2 = \left(-\frac{1}{8} \cdot D \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right)\right)^2 \cdot 1 = P^2 = \varrho^2.$$

Der Centralkern des Kreisringes ist ein Kreis vom Radius:

54c) $$P = \varrho = \frac{1}{8} \cdot D \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right).$$

Allgemein also fanden wir:

54d)
$$\begin{cases} P = C_1 \cdot D \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right), \\ \varrho = C_2 \cdot D \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right). \end{cases}$$

Centralkern des vollen Quadrates, des vollen, gleichseitigen Achteckes und des vollen Kreises.

Ferner wird für die vollen Querschnitte:

$$d = 0,$$

und somit erhalten wir in diesem Falle die Gleichungen:

54e)
$$\begin{cases} P = C_1 \cdot D, \\ \varrho = C_2 \cdot D, \end{cases}$$

und zwar haben wir in diese Formeln einzusetzen:

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= \frac{1}{6}, \\ C_2 &= \frac{1}{6 \cdot \sqrt{2}} \end{aligned}\right\} \text{für den quadratischen,}$$

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= 0{,}13215, \\ C_2 &= 0{,}12209 \end{aligned}\right\} \text{für den achteckigen, und}$$

$C_1 = C_2 = \frac{1}{8}$ für den kreisförmigen Querschnitt.

Weiter finden sich bei Schornsteinen häufig noch folgende Querschnitte, als:

Quadrat mit achteckigem Loch,
Quadrat mit Kreisloch,
regelmässiges Achteck mit Kreisloch, und
Quadrat mit durchgehendem Kanal,

für welche Flächen wir gleichfalls die Centralkerne bestimmen wollen.

Centralkern des Quadrats mit achteckigem Loch.

Das Quadrat mit achteckigem Loch (siehe Blatt VI, Figur 1) besitzt:

Das Trägheitsmoment: $J_x = J_y = J$,

$$J = \frac{1}{12} \cdot D^4 - 0{,}0547 \cdot d^4,$$

und den Flächeninhalt: $F = D^2 - 0{,}8284 \cdot d^2$,

folglich wird:

$$a^2 = b^2 = \frac{J}{F} = \frac{0{,}0833 \cdot D^4 - 0{,}0547 \cdot d^4}{D^2 - 0{,}8284 \cdot d^2}.$$

Fällt die neutrale Achse nacheinander mit den Seiten I—I, II—II, III—III und IV—IV zusammen, so ergiebt sich:

Für die Lage I—I:

$$m = \frac{D}{2}, \quad n = \infty,$$

$$x_1 = -\frac{b^2}{m} = -\frac{2}{D} \cdot \frac{0{,}0833 \cdot D^4 - 0{,}0547 \cdot d^4}{D^2 - 0{,}8284 \cdot d^2} = -P,$$

$$y_1 = -\frac{a^2}{n} = 0.$$

Für die Lage II—II:

$$m = \infty, \quad n = \frac{D}{2},$$

$$x_1 = -\frac{b^2}{m} = 0,$$

$$y_1 = -\frac{a^2}{n} = -P.$$

Für die Lage III—III:

$$m = -\frac{D}{2}, \quad n = \infty,$$

$$x_1 = -\frac{b^2}{m} = +P,$$

$$y_1 = -\frac{a^2}{n} = 0.$$

Für die Lage IV—IV:

$$m = \infty, \quad n = -\frac{D}{2},$$

$$x_1 = -\frac{b^2}{m} = 0,$$

$$y_1 = -\frac{a^2}{n} = +P.$$

Für die Lage I'—I' dagegen wird:

$$m = n = D,$$

$$x_1 = y_1 = -\frac{b^2}{m} = -\frac{a^2}{m},$$

$$x_1 = y_1 = -\frac{1}{D} \cdot \frac{0{,}0833 . D^4 - 0{,}0547 . d^4}{D^2 - 0{,}8284 . d^2}.$$

Es ist aber:

$$\varrho^2 = 2 \cdot x_1^2,$$

$$\varrho = x_1 \cdot \sqrt{2},$$

$$\varrho = \frac{\sqrt{2}}{D} \cdot \frac{0{,}0833 . D^4 - 0{,}0547 . d^4}{D^2 - 0{,}8284 . d^2},$$

oder: $\varrho = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot P,$

woraus folgt, dass **der Centralkern eines Quadrates mit achteckigem Loch ein Quadrat ist,** für welches:

54 b)
$$\begin{cases} P = \dfrac{2}{D} \cdot \dfrac{0{,}0833 . D^4 - 0{,}0547 . d^4}{D^2 - 0{,}8284 . d^2}, \text{ und} \\ \varrho = \dfrac{\sqrt{2}}{D} \cdot \dfrac{0{,}0833 . D^4 - 0{,}0547 . d^4}{D^2 - 0{,}8284 . d^2}. \end{cases}$$

Centralkern des Quadrates mit Kreisloch.

Die Untersuchung des quadratischen Querschnittes mit Kreisloch (siehe Blatt VI, Figur 2), führt zu folgendem Resultat:

Es ist:

$$J_x = J_y = J,$$

$$J = \frac{1}{12} \cdot D^4 - \frac{\pi}{64} \cdot d^4,$$

$$J = 0{,}0833 \,.\, D^4 - 0{,}0491 \,.\, d^4, \text{ und}$$

$$F = D^2 - \frac{\pi}{4} \cdot d^2.$$

Folglich wird:

$$a^2 = b^2 = \frac{J}{F} = \frac{0{,}0833 \,.\, D^4 - 0{,}0491 \,.\, d^4}{D^2 - 0{,}7854 \,.\, d^2}.$$

Ferner erhalten wir, vorausgesetzt, dass die neutrale Achse hintereinander die Lagen I—I, II—II, III—III und IV—IV einnimmt:

Im ersten Falle:

$$m = \frac{D}{2}, \quad n = \infty,$$

$$x_1 = -\frac{b^2}{m} = -\frac{2}{D} \cdot \frac{0{,}0833 \,.\, D^4 - 0{,}0491 \,.\, d^4}{D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2} = -P,$$

$$y_1 = 0.$$

Im zweiten Falle:

$$m = \infty, \quad n = \frac{D}{2},$$

$$x_1 = 0, \quad y_1 = -P.$$

Im dritten Falle:

$$m = -\frac{D}{2}, \quad n = \infty,$$

$$x_1 = +P, \quad y_1 = 0, \quad \text{und:}$$

Im vierten Falle:

$$m = \infty, \quad n = -\frac{D}{2},$$

$$x_1 = 0, \quad y_1 = +P.$$

Weiter ergiebt sich für die Lage I'—I':

$$m = n = D,$$

$$x_1 = y_1 = -\frac{b^2}{m} = -\frac{a^2}{n},$$

$$x_1 = y_1 = -\frac{1}{D} \cdot \frac{0{,}0833 \cdot D^4 - 0{,}0491 \cdot d^4}{D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2}.$$

Für die Lage III—III:

$$m = -\frac{D}{2}, \quad n = \infty,$$

$$x_1 = -\frac{b^2}{m} = +P,$$

$$y_1 = -\frac{a^2}{n} = 0.$$

Für die Lage IV—IV:

$$m = \infty, \quad n = -\frac{D}{2},$$

$$x_1 = -\frac{b^2}{m} = 0,$$

$$y_1 = -\frac{a^2}{n} = +P.$$

Für die Lage I'—I' dagegen wird:

$$m = n = D,$$

$$x_1 = y_1 = -\frac{b^2}{m} = -\frac{a^2}{m},$$

$$x_1 = y_1 = -\frac{1}{D} \cdot \frac{0{,}0833 . D^4 - 0{,}0547 . d^4}{D^2 - 0{,}8284 . d^2}.$$

Es ist aber:

$$\varrho^2 = 2 \cdot x_1^2,$$

$$\varrho = x_1 \cdot \sqrt{2},$$

$$\varrho = \frac{\sqrt{2}}{D} \cdot \frac{0{,}0833 . D^4 - 0{,}0547 . d^4}{D^2 - 0{,}8284 . d^2},$$

oder: $\varrho = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot P,$

woraus folgt, dass **der Centralkern eines Quadrates mit achteckigem Loch ein Quadrat ist,** für welches:

54 b)
$$\begin{cases} P = \frac{2}{D} \cdot \frac{0{,}0833 . D^4 - 0{,}0547 . d^4}{D^2 - 0{,}8284 . d^2}, \text{ und} \\ \varrho = \frac{\sqrt{2}}{D} \cdot \frac{0{,}0833 . D^4 - 0{,}0547 . d^4}{D^2 - 0{,}8284 . d^2}. \end{cases}$$

Centralkern des Quadrates mit Kreisloch. Die Untersuchung des quadratischen Querschnittes mit Kreisloch (siehe Blatt VI, Figur 2), führt zu folgendem Resultat:

Es ist:

$$J_x = J_y = J,$$

$$J = \frac{1}{12} \cdot D^4 - \frac{\pi}{64} \cdot d^4,$$

$$J = 0{,}0833 \, . \, D^4 - 0{,}0491 \, . \, d^4, \text{ und}$$

$$F = D^2 - \frac{\pi}{4} \cdot d^2.$$

Folglich wird:

$$a^2 = b^2 = \frac{J}{F} = \frac{0{,}0833 \, . \, D^4 - 0{,}0491 \, . \, d^4}{D^2 - 0{,}7854 \, . \, d^2}.$$

Ferner erhalten wir, vorausgesetzt, dass die neutrale Achse hintereinander die Lagen I—I, II—II, III—III und IV—IV einnimmt:

Im ersten Falle:

$$m = \frac{D}{2}, \quad n = \infty,$$

$$x_1 = -\frac{b^2}{m} = -\frac{2}{D} \cdot \frac{0{,}0833 \, . \, D^4 - 0{,}0491 \, . \, d^4}{D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2} = -P,$$

$$y_1 = 0.$$

Im zweiten Falle:

$$m = \infty, \quad n = \frac{D}{2},$$

$$x_1 = 0, \quad y_1 = -P.$$

Im dritten Falle:

$$m = -\frac{D}{2}, \quad n = \infty,$$

$$x_1 = +P, \quad y_1 = 0, \quad \text{und:}$$

Im vierten Falle:

$$m = \infty, \quad n = -\frac{D}{2},$$

$$x_1 = 0, \quad y_1 = +P.$$

Weiter ergiebt sich für die Lage I'—I':

$$m = n = D,$$

$$x_1 = y_1 = -\frac{b^2}{m} = -\frac{a^2}{n},$$

$$x_1 = y_1 = -\frac{1}{D} \cdot \frac{0{,}0833 \cdot D^4 - 0{,}0491 \cdot d^4}{D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2}.$$

Es ist aber:

$$\varrho^2 = 2 \cdot x_1^2,$$

$$\varrho = x_1 \cdot \sqrt{2},$$

$$\varrho = \frac{\sqrt{2}}{D} \cdot \frac{0{,}0833 \cdot D^4 - 0{,}0491 \cdot d^4}{D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2},$$

oder:

$$\varrho = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot P.$$

Auch hier gelangen wir zu dem Ergebniss, **dass der Centralkern eines Quadrates mit Kreisloch ein Quadrat ist,** und zwar wird in diesem Fall:

54g)

$$\begin{cases} P = \dfrac{2}{D} \cdot \dfrac{0{,}0833 \cdot D^4 - 0{,}0491 \cdot d^4}{D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2}, \\ \varrho = \dfrac{\sqrt{2}}{D} \cdot \dfrac{0{,}0833 \cdot D^4 - 0{,}0491 \cdot d^4}{D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2}. \end{cases}$$

Centralkern des regulären Achteckes mit Kreisloch.

Für das reguläre Achteck mit Kreisloch (siehe Blatt VI, Figur 3) gestalten sich die Verhältnisse wie folgt:

In Bezug auf die Coordinatensysteme x, y und ξ, η wird:

$$J_x = J_\xi = J_y = J_\eta = J,$$

$$J = 0{,}0547 \cdot D^4 - \frac{\pi}{64} \cdot d^4.$$

Ferner ist:

$$F = 0{,}8284 \cdot D^2 - \frac{\pi}{4} \cdot d^2,$$

woraus folgt:

$$a^2 = b^2 = \frac{J}{F} = \frac{0{,}0547 \cdot D^4 - 0{,}0491 \cdot d^4}{0{,}8284 \cdot D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2}.$$

Alsdann findet sich:

Für die neutralen Achsen I—I und 1—1:

$$m = \frac{D}{2}, \quad n = \infty,$$

$$x_1 = \xi_1 = -\frac{b^2}{m} = -\frac{1}{\frac{D}{2}} \cdot \frac{0{,}0547 \cdot D^4 - 0{,}0491 \cdot d^4}{0{,}8284 \cdot D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2} = -P,$$

$$y_1 = \eta_1 = -\frac{a^2}{n} = 0.$$

Für die neutralen Achsen II—II und 2—2:

$$m = \infty,\ n = \frac{D}{2},$$

$$x_1 = \xi_1 = -\frac{b^2}{m} = 0,$$

$$y_1 = \eta_1 = -\frac{a^2}{n} = -P.$$

Für die neutralen Achsen III—III und 3—3:

$$m = -\frac{D}{2},\ n = \infty,$$

$$x_1 = \xi_1 = -\frac{b^2}{m} = +P,$$

$$y_1 = \eta_1 = -\frac{a^2}{m} = 0, \text{ und}$$

für die neutralen Achsen IV—IV und 4—4:

$$m = \infty,\ n = -\frac{D}{2},$$

$$x_1 = \xi_1 = -\frac{b^2}{m} = 0,$$

$$y_1 = \eta_1 = -\frac{a^2}{n} = +P.$$

Legen wir jetzt durch unseren Querschnitt (vergleiche Blatt VII, Figur 1) zwei neue Coordinatensysteme: x', y' und: ξ', η' so folgt:

$$J_{x'} = J_{\xi'} = J_{y'} = J_{\eta'} = J,$$

$$J = 0{,}0547 \cdot D^4 - 0{,}0491 \cdot d^4,$$

$$F = 0{,}8284 \cdot D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2, \text{ und:}$$

$$a^2 = b^2 = \frac{J}{F} = \frac{0{,}0547 \cdot D^4 - 0{,}0491 \cdot d^4}{0{,}8284 \cdot D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2}.$$

Nimmt die neutrale Achse nacheinander die Lagen I'—I' beziehungsweise 1'—1', II'—II' beziehungsweise 2'—2', III'—III' beziehungsweise 3'—3' und IV'—IV' beziehungsweise 4'—4' ein, so ergiebt sich:

Bezüglich der Lagen I'—I' und 1'—1':

$$m = \frac{\frac{D}{2}}{\cos 22^0\,30'},\quad n = \infty,$$

$$x_1' = \xi_1' = -\frac{b^2}{m} = -\frac{\cos 22^0\,30'}{\frac{D}{2}} \cdot \frac{0{,}0547 \cdot D^4 - 0{,}0491 \cdot d^4}{0{,}8284 \cdot D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2},$$

$$x_1' = \xi_1' = -\varrho,$$

$$y_1' = \eta_1' = -\frac{a^2}{n} = 0.$$

Bezüglich der Lagen II'—II' und 2'—2':

$$m = \infty, \quad n = -\frac{\frac{D}{2}}{\cos 22^0\,30'},$$

$$x_1' = \xi_1' = -\frac{b^2}{m} = 0,$$

$$y_1' = \eta_1' = -\frac{a^2}{n} = -\varrho.$$

Bezüglich der Lagen III'—III' und 3'—3':

$$m = -\frac{\frac{D}{2}}{\cos 22^0\,30'}, \quad n = \infty.$$

$$x_1' = \xi_1' = -\frac{b^2}{m} = +\varrho,$$

$$y_1' = \eta_1' = -\frac{a^2}{n} = 0 \text{ und}$$

bezüglich der Lagen IV'—IV' und 4'—4':

$$m = \infty, \quad n = -\frac{\frac{D}{2}}{\cos 22^0\,30'},$$

$$x_1' = \xi_1' = -\frac{b^2}{m} = 0,$$

$$y_1' = \eta_1' = -\frac{a^2}{n} = +\varrho.$$

Wir fanden:

54h)
$$\begin{cases} P = \dfrac{1}{\frac{D}{2}} \cdot \dfrac{0{,}0547 \cdot D^4 - 0{,}0491 \cdot d^4}{0{,}8284 \cdot D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2}, \\ \varrho = \dfrac{\cos 22^0\,30'}{\frac{D}{2}} \cdot \dfrac{0{,}0547 \cdot D^4 - 0{,}0491 \cdot d^4}{0{,}8284 \cdot D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2}, \end{cases}$$

woraus folgt, **dass der Centralkern eines regulären Achteckes mit Kreisloch ein reguläres Achteck ist.**

Es erübrigt jetzt nur noch, den Centralkern eines Quadrates mit durchgehendem Kanal (siehe Blatt VII, Figur 2) zu bestimmen. *Centralkern des Quadrates mit durchgehendem Kanal.*

In Bezug auf das gewählte Coordinatensystem wird:

$$J_x = \frac{1}{12} \cdot D^3 \cdot (D - d),$$

$$J_y = \frac{1}{12} \cdot D \cdot (D^3 - d^3),$$

und da: $$F = D \cdot (D - d),$$

so folgt: $$a^2 = \frac{J_x}{F} = \frac{D^2}{12},$$

$$b^2 = \frac{J_y}{F} = \frac{1}{12} \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2).$$

Sodann ergiebt sich:

Für die neutrale Achse I—I, beziehungsweise III—III:

$$m = \pm \frac{D}{2}, \; n = \infty,$$

$$x_1 = -\frac{b^2}{m} = \mp \frac{1}{6 \cdot D} \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2) = \mp P_{max},$$

$$y_1 = -\frac{a^2}{n} = 0 \quad \text{und}$$

für die neutrale Achse: II—II, beziehungsweise IV—IV:

$$m = \infty, \; n = \pm \frac{D}{2},$$

$$x_1 = -\frac{b^2}{m} = 0,$$

$$y_1 = -\frac{a^2}{n} = \mp \frac{D}{6} = \mp P_{min}.$$

Führen wir ein neues Coordinatensystem: x', y' ein, welches mit den Diagonalen des Querschnittes zusammenfällt, so erhalten wir:

$$J_{x'} = J_{y'} = J,$$

$$J = \frac{D}{24} \cdot (2 \cdot D^3 - D^2 \cdot d - d^3),$$

und da: $$F = D \cdot (D - d),$$

so folgt: $$a^2 = b^2 = \frac{J}{F} = \frac{1}{24} \cdot (2 \cdot D^2 + D \cdot d + d^2).$$

Ferner wird:

In Bezug auf die neutrale Achse I'—I', beziehungsweise III'—III':

$$m = \pm \frac{D}{\sqrt{2}}, \quad n = \infty,$$

$$x_1' = -\frac{b^2}{m} = \mp \frac{\sqrt{2}}{24 \cdot D} \cdot (2 \cdot D^2 + D \cdot d + d^2) = \mp \varrho,$$

$$y_1' = -\frac{a^2}{n} = 0.$$

In Bezug auf die neutrale Achse II'—II', beziehungsweise IV'—IV':

$$m = \infty, \quad n = \pm \frac{D}{\sqrt{2}},$$

$$x_1' = -\frac{b^2}{m} = 0,$$

$$y_1' = -\frac{a^2}{n} = \mp \frac{\sqrt{2}}{24 \cdot D} \cdot (2 \cdot D^2 + D \cdot d + d^2),$$

$$y_1' = \mp \varrho.$$

Als Resultat erhalten wir die Gleichungen:

54 i)
$$\begin{cases} P_{max} = \frac{1}{6 \cdot D} \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2), \\ P_{min} = \frac{D}{6}, \\ \varrho = \frac{1}{16{,}97 \cdot D} \cdot (2 \cdot D^2 + D \cdot d + d^2). \end{cases}$$

Für den Fall, dass der Centralkern einen Rhombus bilden würde (siehe Blatt VII, Figur 3), müsste die Bedingung erfüllt sein:

$$\frac{P_{min}}{P_{max}} = \frac{\varrho \cdot \sin 45^0}{P_{max} - \varrho \cdot \cos 45^0};$$

obige Werthe in diese Gleichung eingesetzt ergeben, dass die rechte Seite grösser wird, und somit der Punkt C über die Verbindungslinie $A\,B$ hinausfällt.

In diesem letzten Beispiel lässt uns auch die früher gegebene Definition für P und ϱ im Stich. Wir können hier weder von einem dem Centralkern umschriebenen, noch eingeschriebenen Kreise sprechen, gelangen jedoch zu einer zweiten, allgemeingiltigen Definition, wenn wir sagen:

Es bezeichnet:

P **die Entfernung der Kernlinie vom Mittelpunkt in der Richtung senkrecht zu einer Seite des Querschnittes, und**

ϱ **die Entfernung der Kernlinie vom Mittelpunkt in der Richtung einer Diagonale des Querschnittes.**

Schliessen wir den zuletzt behandelten Fall aus, so bestehen zwischen den Grössen P und ϱ noch folgende Beziehungen.

Es wird:

Sobald die den Querschnitt begrenzende Linie ein Quadrat ist, der Centralkern ein Quadrat und:

$$P = 1{,}4142 \cdot \varrho,$$
$$\varrho = 0{,}7071 \cdot P.$$

Sobald die den Querschnitt begrenzende Linie ein regelmässiges Achteck ist, der Centralkern ein gleichseitiges Achteck und:

$$P = 1{,}08239 \cdot \varrho,$$
$$\varrho = 0{,}92388 \cdot P,$$

und sobald die den Querschnitt begrenzende Linie ein Kreis ist, der Centralkern ein Kreis und:

$$P = \varrho.$$

Beanspruchung des Mauerwerkes durch den Winddruck.

Das Moment des Windes ruft in der Schornsteinsäule eine Spannung $\mathfrak{S}$ beziehungsweise $\mathfrak{S}'$ hervor, welche sich nach der Gleichung:

$$M_W = \frac{\mathfrak{S} \cdot J}{e}, \qquad M_W' = \frac{\mathfrak{S}' \cdot J'}{e},$$

$$55) \qquad \mathfrak{S} = \frac{M_W \cdot e}{J}, \qquad \mathfrak{S}' = \frac{M_W' \cdot e'}{J'},$$

bestimmen lässt; wir erhalten somit für die resultirende Beanspruchung aus Eigenlast und Winddruck die Formel:

Beanspruchung des Mauerwerkes durch Eigenlast und Winddruck; rechnerische Durchführung.

$$56) \qquad \sigma = p \pm \mathfrak{S}, \qquad \sigma' = p \pm \mathfrak{S}',$$

und zwar gilt das negative Vorzeichen für die vom Wind getroffene, das positive Vorzeichen für die entgegengesetzte Schornsteinseite.

Wir wollen jetzt die Spannungen ermitteln, welche in dem Schornsteinschaft auftreten, wenn derselbe von einem Winde getroffen wird, dessen specifischer Druck den m^{ten} Theil des kritischen Winddruckes ausmacht, und zwar unter der Voraussetzung, dass:

1.	2.
Die Windrichtung senkrecht zu einer Seite des Schornsteinquerschnittes steht.	Die Windrichtung mit einer Diagonale des Schornsteinquerschnittes zusammenfällt.

Allgemein wird dann (siehe Blatt VIII, Figur 1—3):

$$57) \quad \sigma = \frac{G}{F} \pm \frac{M_W \cdot e}{J}. \qquad \sigma' = \frac{G}{F} \pm \frac{M_W' \cdot e'}{J'}.$$

Bezeichnen wir nun mit α, beziehungsweise α' die Entfernung des Durchschnittspunktes der Resultante aus Winddruck und Schornsteingewicht von dem Mittelpunkt des zu untersuchenden Querschnittes, so folgt unter Beibehaltung der früher gewählten Bezeichnungen:

$$M_W = \frac{W}{m} \cdot s, \qquad M_{W'} = \frac{W'}{m} \cdot s,$$

da aber (vergleiche Blatt VIII, Figur 4):

$$\frac{W}{m} \cdot s = G \cdot \alpha, \qquad \frac{W'}{m} \cdot s = G \cdot \alpha',$$

so wird:

$$\alpha' = \frac{W'}{W} \cdot \alpha.$$

Diese Werthe in die Gleichungen 57) eingesetzt ergeben:

$$\sigma = \frac{G}{F} \pm G \cdot \frac{\alpha \cdot e}{J}, \qquad \sigma' = \frac{G}{F} \pm G \cdot \frac{\alpha' \cdot e'}{J'},$$

$$\sigma = \frac{G}{F} \cdot \left(1 \pm \frac{\alpha}{\frac{J}{e \cdot F}}\right). \qquad \sigma' = \frac{G}{F} \cdot \left(1 \pm \frac{\alpha'}{\frac{J'}{e' \cdot F}}\right).$$

Es ist aber, wie ohne Weiteres aus den Gleichungen 54) herzuleiten:

$$\frac{J}{e \cdot F} = P, \qquad \frac{J'}{e' \cdot F} = \varrho,$$

woraus folgt:

58) $$\sigma = \frac{G}{F} \cdot \left(1 \pm \frac{\alpha}{P}\right). \qquad \sigma' = \frac{G}{F} \cdot \left(1 \pm \frac{\alpha'}{\varrho}\right).$$

Zu unseren Sonderfällen übergehend, finden wir:

Für den quadratischen Schornstein:

$\alpha' = 0{,}707 \cdot \alpha$ (siehe Gleichung 46),

$\varrho = 0{,}707 \cdot P$ (vergleiche Seite 47),

$$\sigma = \frac{G}{F} \cdot \left(1 \pm \frac{\alpha}{P}\right), \qquad \sigma' = \frac{G}{F} \cdot \left(1 \pm \frac{\alpha}{P}\right),$$

$$\sigma = \sigma'.$$

Für den achteckigen Schornstein:

$\alpha' = 0{,}990 \cdot \alpha$ (siehe Gleichung 47),

$\varrho = 0{,}924 \cdot P$ (vergleiche Seite 47),

$$\sigma = \frac{G}{F} \cdot \left(1 \pm \frac{\alpha}{P}\right), \qquad \sigma' = \frac{G}{F} \cdot \left(1 \pm 1{,}071 \cdot \frac{\alpha}{P}\right),$$

$$\sigma \lesseqgtr \sigma',$$

und für den runden Schornstein:

$$\sigma = \sigma'.$$

Dieses Resultat lässt sich in folgende Worte kleiden:

Bei quadratischen und runden Schornsteinen ist nur die Stärke des Windes, nicht aber die Windrichtung, von Einfluss auf die im Mauerwerk auftretenden Spannungen; bei achteckigen Schornsteinen

erzeugt, gleiche Windstärke vorausgesetzt, der übereck wehende Wind in dem der Windrichtung entgegengesetzten Schornsteintheil stets ein Druckmaximum, in dem vom Wind getroffenen Theil ein Zugmaximum, sobald: $\frac{\alpha}{P} > 1$.

Setzt man in die Gleichung 58) für α den entsprechenden Werth $\frac{D}{2m}$ *) und für P die sich aus der Gleichung 54 d) ergebenden Werthe ein, so erhält man nachstehende Formeln:

$$\sigma = \frac{G}{F} \cdot \left(1 \pm \frac{3{,}0000}{m\left[1 + \left(\frac{d}{D}\right)^2\right]}\right),$$

$$\sigma = \frac{G}{F} \cdot \left(1 \pm \frac{3{,}7836}{m\left[1 + \left(\frac{d}{D}\right)^2\right]}\right),$$

$$\sigma = \frac{G}{F} \cdot \left(1 \pm \frac{4{,}0000}{m\left[1 + \left(\frac{d}{D}\right)^2\right]}\right),$$

welche die gemeinsame Gestalt:

$$59) \qquad \sigma = \frac{G}{F} \cdot \left(1 \pm \frac{C}{m\left[1 + \left(\frac{d}{D}\right)^2\right]}\right)$$

besitzen, und zwar wird:

$C = 3{,}0000$ für den quadratischen,
$C = 3{,}7836$ für den achteckigen, und
$C = 4{,}0000$ für den runden Schornstein.

Bei übereck wehendem Winde ergiebt sich sodann noch für die Beanspruchung des Mauerwerkes eines achteckigen Schornsteines die Gleichung:

$$60) \qquad \sigma' = \frac{G}{F} \cdot \left(1 \pm \frac{4{,}0522}{m\left[1 + \left(\frac{d}{D}\right)^2\right]}\right).$$

In vielen Fällen wird ein Schornstein nicht als Säule von nur einer Querschnittsform ausgeführt, sondern er erhält im Sockel einen andern Querschnitt. Wir finden achteckige Schornsteine mit quadratischem Unterbau und runde Schornsteine mit quadratischem oder auch achteckigem Sockel.

*) $\alpha = \frac{\frac{W}{m} \cdot s}{G}$; und da: $W \cdot s = G \cdot \frac{D}{2}$, so folgt: $\alpha = \frac{D}{2 \cdot m}$.

Auch hier ruft der übereckwehende Wind in dem Mauerwerk der Uebergangsstellen Spannungsmaxima hervor, wie die nachfolgende Untersuchung lehrt.

Betrachten wir zunächst nur die vom Winddruck erzeugten Spannungen, so ergiebt sich (vergleiche Blatt IX):

Für achteckige und runde Schornsteine mit quadratischem Sockel:

1.	2.
Bei normal auftreffendem Winde:	Bei übereck einfallendem Winde:
$\mathfrak{S} = \frac{M_W \cdot e}{J}$,	$\mathfrak{S}' = \frac{M_W' \cdot e'}{J'}$.

Es ist aber für den Querschnitt $A\,B$:

$$M_W = M_W',^*)$$
$$J = J',$$
$$e \cdot \sqrt{2} = e',$$

und somit wird:

$$1{,}4142 \cdot \mathfrak{S} = \mathfrak{S}'.$$

Analog erhalten wir für runde Schornsteine mit achteckigem Sockel:

$$M_W = M_W',$$
$$J = J',$$
$$1{,}0824 \cdot e = e',$$

woraus folgt:

$$1{,}0824 \cdot \mathfrak{S} = \mathfrak{S}'.$$

Diese Werthe in die allgemeine Gleichung:

56) $\quad \sigma = p \pm \mathfrak{S} \quad | \quad \sigma' = p \pm \mathfrak{S}'$

eingesetzt, ergeben folgende Formeln:

Für achteckige oder runde Schornsteine mit quadratischem Sockel:

61) $\quad \sigma = p \pm \mathfrak{S}, \quad | \quad \sigma' = p \pm 1{,}4142 \cdot \mathfrak{S},$

und für runde Schornsteine mit achteckigem Sockel:

62) $\quad \sigma = p \pm \mathfrak{S}, \quad | \quad \sigma' = p \pm 1{,}0824 \cdot \mathfrak{S}.$

Wir verlassen hiermit diesen Gegenstand, da uns die späteren Anwendungen Gelegenheit bieten werden, denselben eingehender zu behandeln

---

*) Für den achteckigen Schornstein ist: $M_W' = 0{,}9896 \cdot M_W$, wofür wir $M_W' \cong M_W$ setzen können.

Abschnitt V.

Formeln und Erfahrungswerthe für den praktischen Gebrauch.

Aus und zu Abschnitt I.

Brennmaterial, Verbrennung und Dampferzeugung.

Zur Verbrennung erforderliche Luftmenge.

Besteht 1 kg eines Brennmaterials aus:

C kg Kohlenstoff,
H kg Wasserstoff,
S kg Schwefel,
O kg Sauerstoff,

so sind zu seiner **vollkommenen** Verbrennung **wenigstens:**

1) $$Q = (\frac{8}{3} \cdot C + 8 \cdot H + S - O) \cdot 4{,}350 \text{ kg}$$

Luft erforderlich, welche im Normalzustand (bei einer Temperatur von 0° Celsius und unter einem Druck von 760 mm Quecksilbersäule) einen Raum von:

2) $$V = \left(\frac{8}{3} \cdot C + 8 \cdot H + S - O\right) \cdot 3{,}346 \text{ cbm}$$

einnehmen.

Menge der Rauchgase.

Ein Kilogramm Brennstoff liefert:

3) $$L_1 = (x \cdot Q + 1) \text{ kg}$$

Rauchgase.

Der Werth für Q ergiebt sich aus der Gleichung 1); für x haben wir $x = 1$, oder $x > 1$, in der Regel $x = 2$ zu setzen. In dem ersteren Falle führen wir dem Verbrennungsprocess nur die gerade erforderliche Luftmenge, im zweiten Falle dagegen Luft im Ueberschuss zu.

Verzehrt eine Feuerungsanlage stündlich B kg Brennmaterial, so entweichen dem zugehörigen Schornstein in einer Secunde:

4) $$L = \frac{B.(x.Q+1)}{3600} \text{ kg}$$

Rauchgase.

Heizwerth. Zeigt 1 kg eines Brennstoffes nachstehende Zusammensetzung.

C kg Kohlenstoff,
H kg Wasserstoff,
O kg Sauerstoff,
S kg Schwefel und
W kg aufgesaugtes Wasser,

so berechnet sich sein Heizwerth nach einer der beiden, für praktische Zwecke gleichwerthigen Formeln zu:

5) $$\mathfrak{H} = (8100 \cdot C + 28800 \cdot [H - \frac{O}{8}] + 2500 \cdot S - 600 \cdot W),$$

oder:

6) $$\mathfrak{H} = (8100 \cdot C + 29000 \cdot [H - \frac{O}{8}] + 2500 \cdot S - 600 \cdot W)$$

Wärme-Einheiten.

Gesammtwärme. Zur Verwandlung von 1 kg Wasser, dessen Temperatur 0° Celsius beträgt, in Dampf von t^0 Celsius bedarf es einer Wärmemenge (Gesammtwärme) von:

8) $$\lambda = 606{,}5 + 0{,}305 \cdot t$$

Wärme-Einheiten.

Verdampfung. Die theoretische Verdampfungskraft, oder kurz die theoretische Verdampfung eines Kilogrammes Brennstoff ist:

7) $$\text{Verdampfung} = \frac{\text{Heizwerth}}{\text{Gesammtwärme}} = \frac{\mathfrak{H}}{\lambda}.$$

Tabelle
der Temperaturen und der Gesammtwärme für Wasserdämpfe von 0 bis 12 Atmosphären Ueberdruck.*)

Dampfspannung in Atmosphären Ueberdruck 1 *A.* = 1 kg pr. 1 qcm *q*	Temperatur des Dampfes in Celsiusgraden *t*	Gesammtwärme in Wärme-Einheiten λ
0	99,088	636,722
1	119,570	642,969
2	132,798	647,003
3	142,820	650,060
4	150,991	652,552
5	157,944	654,673
6	164,028	656,529
7	169,459	658,185
8	174,379	659,686
9	178,886	661,060
10	183,053	662,331
11	186,985	663,515
12	190,573	664,625

Angaben für Steinkohlen von mittlerer Zusammensetzung.

Zusammensetzung von 1 kg mittlerer Steinkohle:

81 % Kohlenstoff,
4 % Wasserstoff,
8 % Sauerstoff,
2 % Schwefel,
3 % aufgesaugtes Wasser, und
2 % Asche,

100 %.

Für derartige Kohle beträgt:

Die zur Verbrennung **gerade** erforderliche Luftmenge	10,5 kg, oder: 8 cbm (im Normalzustand),
die Menge der Verbrennungsprodukte .	11,5 kg,
der Heizwerth	7460 W-E., und
die theoretische Verdampfung . . .	11,48 kg.

*) Nach Zeuner, „Technische Thermodynamik". 3. Auflage. Bd. II.

In Wirklichkeit treten an die Stelle obiger Ziffern folgende Mittelwerthe:

Zur Verbrennung erforderliche Luftmenge	21 kg, oder:
	16 cbm (im Normalzustand),
Rauchgase	22 kg,
Heizwerth	7400—7500 W-E.,
Verdampfung	6—7 kg.

Aus und zu Abschnitt II.

*Der Schornsteinzug.**)

(Hierzu Blatt I.)

Bezeichnet:

L [nach Gleichung 4)] das Gewicht der Rauchgase, welches dem Schornstein in der Secunde entströmt, in Kilogrammen,

d_0 die obere, lichte Weite des Schornsteines in Metern,

h die Höhe des Schornsteines (= lothrechte Entfernung von Essenmündung und Rostfläche) in Metern,

l die Länge der Rauchkanäle (= Weg der Heizgase bis zum Essenfuss) in Metern,

y das Verhältniss zwischen der oberen, lichten Schornsteinweite und der Essenhöhe, dargestellt durch die Gleichung: $h' = y \cdot d_0$, und

$\varkappa$ allgemein einen von der Schornsteinform abhängigen Coefficienten,

Péclet'sche Formeln. so bestehen zwischen diesen Grössen nach Péclet folgende Beziehungen:

17b) $$L = \varkappa_1 \cdot \sqrt{\frac{d_0^5 \cdot h}{l + h + 260 \cdot d_0}},$$

18) $$d_0 = \varkappa_2 \cdot \sqrt[5]{\frac{l + h + 260 \cdot d_0}{h} \cdot L^2},$$

19) $$h \geqq 20 \cdot d_0;$$ keinesfalls jedoch unter 16 m;

20a) $$\begin{cases} d_0 = \varkappa_2 \cdot \sqrt[5]{\frac{260 + y}{y} \cdot L^2}, \\ h = (y + 4) \cdot d_0, \end{cases}$$

*) Vergleiche hierzu auch: „Die Dimensionirung der Schornsteine. Von Oberingenieur L. Vogt-Barmen". In Nummer 4 und 5 der Mittheilungen aus der Praxis des Dampfkessel- und Dampfmaschinen-Betriebes vom 15. Februar beziehentlich 1. März 1896.

20b) $\left\{ \begin{array}{l} d_0 = \varkappa_3 \cdot L^{0,4}, \\ h = 20 \cdot d_0, \end{array} \right.$

20c) $\left\{ \begin{array}{l} d_0 = \varkappa_4 \cdot L^{0,4}, \\ h = 25 \cdot d_0, \end{array} \right.$

20d) $\left\{ \begin{array}{l} d_0 = \varkappa_5 \cdot L^{0,4}, \\ h = 30 \cdot d_0. \end{array} \right.$

Von diesen Gleichungen eignet sich 17b) für die Untersuchung vorhandener Schornsteinanlagen, während die übrigen zur Berechnung neuer Schornsteine dienen; die Werthe für $\varkappa$ sind der nachstehenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle der Coefficienten $\varkappa$.

Schornsteinhöhe	Coefficient $\varkappa$	Schornsteinform		
		quadratisch	achteckig	rund
h bei vorhandener Anlage gegeben	$\varkappa_1$	12,8759	10,6664	10,1127
h vorläufig zu wählen, jedoch nicht unter 16 m	$\varkappa_2$	0,3598	0,3880	0,3963
$h = 20 \cdot d_0$	$\varkappa_3$	0,6360	0,6858	0,7005
$h = 25 \cdot d_0$	$\varkappa_4$	0,6045	0,6518	0,6658
$h = 30 \cdot d_0$	$\varkappa_5$	0,5813	0,6268	0,6402

Bezeichnen wir ferner mit:

h_δ den Schornsteinzug in Millimeter Wassersäule,
T_a (= const.) die absolute Temperatur der äusseren Luft,
T_s (= const.) die absolute Temperatur im Schornstein,
B den Brennmaterialverbrauch in der Stunde in Kilogrammen,
f_r die ganze Rostfläche in Quadratmetern,
und mit: η einen echten Bruch,

so ergiebt sich die Zugstärke eines Schornsteines in Millimeter Wassersäule aus der Gleichung: *Schornsteinzug in Millimeter Wassersäule.*

$$25) \qquad h_\delta = \frac{10333 \cdot (h - 6 \cdot d_0)}{29,3} \cdot \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s} \right).$$

Für die Abmessungen **runder** Schornsteine erhalten wir nach v. Reiche nachstehende Formeln: *v. Reiche'sche Formeln.*

[illegible] $\bar{l}_1 = [illegible]$

[illegible] $\bar{l}_1 = [illegible]$

[illegible] $\bar{l} = [illegible]$

[illegible] $\bar{h} = [illegible]$

Die Formel 34a liefert für $\bar{l}_1$ einen kleinsten Werth, will man dagegen bei dem Entwurf eines Schornsteines auf eine später vielleicht eintretende, mässige Betriebsvergrösserung Rücksicht nehmen, so empfiehlt sich die Benutzung von Gleichung 34b.

[illegible]

Als absolute Temperaturen der äusseren Luft und der Schornsteingase kann man zweckmässig die Werthe:

$$T_1 = 273 - 15^\circ = 288^\circ \text{ und}$$
$$T_2 = 273 - 300^\circ = 573^\circ$$

annehmen.

Brennmaterialverbrauch für 1 qm Rostfläche und Stunde.

Der Brennmaterialverbrauch pro 1 qm Rostfläche und Stunde soll sich unter normalen Verhältnissen in folgenden Grenzen bewegen:

60 – 75 kg bei Feuerung von backender Steinkohle,
80–100 kg bei Feuerung von magerer Steinkohle,
120–200 kg bei Feuerung von Braunkohle,
bis 250 kg bei Feuerung von Holz oder Torf.

Aus und zu Abschnitt III.

Die Standfestigkeit.

Hierzu Blatt II, III, X und XI.

Bezeichnet:

D beziehentlich D_1 die obere, äussere Weite,
D beziehentlich D_2 die untere, äussere Weite,
und H die Höhe eines Schornsteines, in Metern,
ferner: w den specifischen kritischen Winddruck (= Druck des Windes auf 1 qm einer zur Windrichtung senkrechten Ebene), bei welchem der Schornstein fällt, in Kilogrammen,
und ζ beziehungsweise ζ_1 von der Schornsteinform abhängige Coefficienten,

so ergiebt sich die absolute Grösse des kritischen Winddruckes aus der Gleichung: *Kritischer Winddruck.*

$$35a) \qquad W = \zeta \cdot w \cdot \left(\frac{D + D_0}{2}\right) \cdot H,$$

wenn der Wind senkrecht auftrifft, oder:

$$35b) \qquad W' = \zeta' \cdot w \cdot \left(\frac{D' + D_0'}{2}\right) \cdot H,$$

wenn der Wind übereck weht.

Ein Schornstein, welcher dem Winddruck W gerade noch zu widerstehen vermag, muss das Gewicht: *Schornstein von gleicher Standfestigkeit. a. Gewicht und Volumen des Schornsteines.*

$$38a) \qquad G = \frac{\zeta \cdot w}{3} \cdot \left(\frac{D + 2 \cdot D_0}{D}\right) \cdot H^2$$

Kilogramm oder, wenn γ das Gewicht von 1 cbm Mauerwerk bedeutet, das Volumen:

$$38b) \qquad V = \frac{\zeta \cdot w}{3 \cdot \gamma} \cdot \left(\frac{D + 2 \cdot D_0}{D}\right) \cdot H^2$$

Cubikmeter besitzen.

Zur Berechnung eines Schornsteines von gleicher Standfestigkeit dient die Formel: *b. Schornsteinquerschnitt.*

$$39) \qquad F = \frac{2}{D \cdot \gamma} \cdot \left(W - \frac{k}{2} \cdot G\right),$$

welche nach Einsetzung der entsprechenden Werthe den für jede beliebige Schornsteinhöhe erforderlichen Querschnitt des Mauerwerkes ergiebt.

In dieser Gleichung bedeutet k (= const.) die Verjüngung der Esse pro 1 Meter Höhe. Dieselbe schwankt zwischen den Grenzen:

$$k = 0{,}030 \text{ bis } 0{,}060 \text{ m}$$

dergestalt, dass man für weite Schornsteine die erstere, für enge Schornsteine die letztere Zahl wählt.

Endlich besteht zwischen dem Schornsteinquerschnitt F und der zugehörigen Wandstärke δ noch folgender Zusammenhang. Es ist: *c. Wandstärke.*

$$40) \qquad \delta = \frac{1}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - \frac{F}{c}}\right).$$

Hierin bezeichnet c eine von der Schornsteinform abhängige Constante, und zwar haben wir für:

quadratische Schornsteine $c = 1{,}0000$,
achteckige Schornsteine . $c = 0{,}8284$ und
runde Schornsteine . . $c = 0{,}7854$

zu setzen.

Coefficienten des Winddruckes.

Tabelle der Coefficienten ζ und ζ'.

Quelle		Schornsteinform quadratisch	achteckig	rund
F. R. v. Lössl	ζ	1,0	0,83	0,78
Gleichung 43a), 44a) und 45)	ζ	1,0	0,71	0,67
v. Reiche	ζ	1,0	0,65	0,50
Gleichung 43b), 44b) und 45)	ζ'	0,5	0,65	0,67

Druck des senkrecht auftreffenden und des übereck wehenden Windes.

Unter Zugrundelegung der Werthe für ζ und ζ', wie solche die Gleichungen 43) bis 45) ergeben, erhält man zwischen dem Druck, welchen ein senkrecht auftreffender Wind erzeugt und demjenigen des übereck wehenden Windes folgende Beziehungen:

Es wird:

Bei einem quadratischen Schornstein $W' = 0{,}7071 \,.\, W$,
bei einem achteckigen Schornstein . $W' = 0{,}9896 \,.\, W$ und
bei einem runden Schornstein . . . $W' = 1{,}0000 \,.\, W$.

Das Gewicht von 1 cbm Mauerwerk bewegt sich zwischen den Zahlen:

$\gamma = 1600$ kg, Mauerwerk aus gewöhnlichen, weichen Ziegeln, und
$\gamma = 2000$ kg, Mauerwerk aus scharf gebrannten Thonziegeln.

Stabilitätsgrenze.

Mit Rücksicht auf die meteorologischen Verhältnisse Deutschlands hat man als Maximum des Winddruckes einen Druck von **125 kg auf 1 qm** anzunehmen; und somit bildet diese Zahl zugleich die unterste Grenze der Standfestigkeit eines Schornsteines.*)

*) ***Circular-Erlass,*** *betreffend die Feststellung allgemeiner Grundsätze für die Berechnung der Standfestigkeit hoher Bauwerke auf geringer Grundfläche.*

Berlin, den 25. Juli 1889.

Euer . . . lasse ich Abschrift eines aus Anlass eines Einzelfalles von der Königlichen Akademie des Bauwesens unter dem 13. d. M. abgegebenen Gutachtens, betreffend die Feststellung allgemeiner Grundsätze für die Berechnung der Standfestigkeit hoher Bauwerke auf geringer Grundfläche in Bezug auf die Bemessung des Winddruckes und der Festigkeit des Mauerwerkes im öffentlichen Sicherheits-Interesse, beifolgend zur Kenntnissnahme und Nachachtung in vorkommenden Fällen zugehen.

Der Minister der öffentlichen Arbeiten.
Im Auftrage: Schultz.

An die Königlichen Regierungs-Präsidenten beziehungsweise Regierungen,
den Königlichen Polizei-Präsidenten und die Königliche Ministerial-Bau-Kommission.
III. 13597.

Gutachten.

Die Akademie des Bauwesens hat in den Sitzungen am 13. Mai und 24. Juni d. J.

Im Allgemeinen wird man niedrigen Schornsteinen eine geringere Stabilität geben als hohen; ebenso kann man geschützt liegende Essen leichter bauen, als solche, welche dem Angriff des Windes von allen Seiten ausgesetzt sind.

Nach v. Reiche soll die Standfestigkeit eines Schornsteines so bemessen werden, dass derselbe erst bei einem specifischen Winddruck von:

$$w \geq 300 \text{ kg auf } 1 \text{ qm}$$

---

die Grundsätze berathen, nach welchen bei der Berechnung der Standfestigkeit hoher Bauwerke auf geringer Grundfläche in Bezug auf die Bemessung des Winddrucks und der Festigkeit des Mauerwerks im öffentlichen Sicherheits-Interesse zu verfahren sei. Die Berathungen haben zu folgendem Ergebniss geführt.

Den Berechnungen der Stabilität und Festigkeit der Bauwerke ist bisher ein Winddruck von 125 kg für das Quadratmeter einer der Windrichtung normal entgegenstehenden Ebene zu Grunde gelegt worden. Trifft der Wind die Ebene nicht normal, so ist der Normaldruck auf die Einheit der Ebene nach dem Quadrate des Cosinus des Richtungswinkels verringert worden. Von diesen Regeln abzugehen liegt, obwohl in verschiedenen technischen Zeitschriften einzelne Mittheilungen über grössere Windpressungen gemacht worden sind, ein Anlass nicht vor. Der Druck von 125 kg für das Quadratmeter ist grösser, als solcher bei den stärksten Stürmen im deutschen Binnenlande beobachtet worden ist, und es ist bisher nicht bekannt geworden, dass Bauwerke, deren Standfestigkeit unter Zugrundelegung eines solchen Winddrucks richtig bemessen worden ist, vom Winde umgestürzt worden wären. Es ist indessen nicht ausgeschlossen, dass an gewissen Orten, an denen durch lokale Hindernisse eine Zusammenziehung des Windstromes bedingt wird, grössere Pressungen entstehen können. Auch sind in den Küstengebieten, namentlich in Schottland, Windpressungen beobachtet worden, welche die bei uns ermittelten weit überschreiten. Dieselben würden indessen nur an den Beobachtungsorten Berücksichtigung verdienen, dagegen für die Aufstellung allgemein gültiger Regeln wohl nicht in Betracht kommen können.

Die Akademie des Bauwesens ist daher der Ansicht, dass im Sicherheits-Interesse die Pressung des Windes unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht unter 125 kg für das Quadratmeter einer normal zur Windrichtung gerichteten ebenen Fläche anzunehmen ist, und nur, soweit nach den örtlichen Verhältnissen erfahrungsmässig grössere Windpressungen auftreten, diese bei Ermittlung der dem Bauwerke zu gebenden Abmessungen in Rechnung zu stellen sind.

In Bezug auf die Berechnung der Standfestigkeit von hohen Bauwerken auf kleiner Grundfläche, wie etwa Schornsteine, freistehende Mauern, Thürme u. s. w., soweit dieselben als einheitliche Mauerkörper betrachtet werden können, bei denen der Winddruck allein die umstürzende Kraft bildet, ist im Sicherheits-Interesse der Nachweis zu führen, dass die Mittelkraft aus dem Eigengewichte des über dem gefährlichen Querschnitt liegenden Theils des Bauwerks und dem darauf wirkenden, am ungünstigsten gerichteten stärksten Winddruck noch innerhalb des Mauerwerks verbleibt und dem äusseren Rande desselben nicht so nahe tritt, dass eine Zerstörung des Materials durch Druck herbeigeführt wird. Diese Voraussetzung muss selbst in dem Falle zutreffen, dass eine Adhäsion des Mörtels an den Steinen nicht vorhanden ist, und die Lagerfugen windseitig sich ungehindert öffnen können.

Berlin, den 13. Juli 1889.

Königliche Akademie des Bauwesens.

Schneider.

kippt. In den diesbezüglichen Rechnungen haben selbstverständlich auch die von demselben Verfasser gegebenen Winddruck-Coefficienten Anwendung zu finden.

Will man dagegen die nach den Gleichungen 43) bis 45) berechneten Coefficienten gelten lassen, so erhält man als entsprechende Stabilitätsgrenze einen Winddruck:

$$w \geq 225 \text{ kg auf 1 qm.}$$

Der gegenwärtig höchste Schornstein der Erde, die von dem Hüttenbaumeister, Bauinspektor Hüppner berechnete und entworfene, von H. R. Heinicke in Chemnitz gebaute „Hohe Esse" der Königlichen Halsbrückner Hütte bei Freiberg in Sachsen würde:

Nach v. Reiche bei einem Winddruck:

$$w = 640 \text{ kg auf 1 qm,}$$

nach unserer zweiten Annahme bei einem Winddruck:

$$w = 480 \text{ kg auf 1 qm}$$

fallen, oder 5,12-, beziehungsweise 3,84-fache Sicherheit gegen Umwehen besitzen.

Wandstärken. Bezüglich der Wandstärken eines Schornsteines ist Folgendes zu bemerken:

Quadratische und achteckige Schornsteine werden aus Ziegelsteinen der Normalform aufgeführt, zu einem steigenden Meter sind 13 Schichten erforderlich. Die obere Wandstärke beträgt 12 cm, beziehentlich 25 cm, die Zunahme der Wandstärke von Absatz zu Absatz $^1/_2$ Stein oder 13 cm.

Runde Schornsteine werden aus radialen Formsteinen aufgeführt, zu einem steigenden Meter sind 10 Schichten erforderlich.

Die obere Wandstärke beträgt in der Regel:

15 cm, sobald die obere, lichte Weite $d_0 < 1{,}500$ m,
20 cm, sobald die obere, lichte Weite $d_0 > 1{,}500$ m,
25 cm, sobald die obere, lichte Weite $d_0 > 2{,}000$ m.

Von Absatz zu Absatz nimmt die Wandstärke um 5 bis 6 cm zu.

Schichtentabelle und Tabelle der Steinstärken

für Ziegelmauerwerk aus Normalsteinen.*)

Schichtentabelle.

Anzahl der Schichten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Höhe in Metern	0,077	0,154	0,231	0,308	0,385	0,462	0,539	0,616	0,693	0,770	0,847	0,924	1,000

Tabelle der Steinstärken.

Steinstärke	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5
Mauerstärke (in Metern)	0,120	0,250	0,380	0,510	0,640	0,770	0,900	1,030	1,160	1,290
Steinstärke	5 1/2	6	6 1/2	7	7 1/2	8	8 1/2	9	9 1/2	10
Mauerstärke (in Metern)	1,420	1,550	1,680	1,810	1,940	2,070	2,200	2,330	2,460	2,590
Steinstärke	10 1/2	11	11 1/2	12	12 1/2	13	13 1/2	14	14 1/2	15
Mauerstärke (in Metern)	2,720	2,850	2,980	3,110	3,240	3,370	3,500	3,630	3,760	3,890
Steinstärke	15 1/2	16	16 1/2	17	17 1/2	18	18 1/2	19	19 1/2	20
Mauerstärke (in Metern)	4,020	4,150	4,280	4,410	4,540	4,670	4,800	4,930	5,060	5,190
Steinstärke	20 1/2	21	21 1/2	22	22 1/2	23	23 1/2	24	24 1/2	25
Mauerstärke (in Metern)	5,320	5,450	5,580	5,710	5,840	5,970	6,100	6,230	6,360	6,490
Steinstärke	25 1/2	26	26 1/2	27	27 1/2	28	28 1/2	29	29 1/2	30
Mauerstärke (in Metern)	6,620	6,750	6,880	7,010	7,140	7,270	7,400	7,530	7,660	7,790
Steinstärke	30 1/2	31	31 1/2	32	32 1/2	33	33 1/2	34	34 1/2	35
Mauerstärke (in Metern)	7,920	8,050	8,180	8,310	8,440	8,570	8,700	8,830	8,960	9,090
Steinstärke	35 1/2	36	36 1/2	37	37 1/2	38	38 1/2	39	39 1/2	40
Mauerstärke (in Metern)	9,220	9,350	9,480	9,610	9,740	9,870	10,000	10,130	10,260	10,390
Steinstärke	40 1/2	41	41 1/2	42	42 1/2	43	43 1/2	44	44 1/2	45
Mauerstärke (in Metern)	10,520	10,650	10,780	10,910	11,040	11,170	11,300	11,430	11,560	11,690
Steinstärke	45 1/2	46	46 1/2	47	47 1/2	48	48 1/2	49	49 1/2	50
Mauerstärke (in Metern)	11,820	11,950	12,080	12,210	12,340	12,470	12,600	12,730	12,860	12,990

*) Für den Fall, dass man das Grundmauerwerk aus scharfgebrannten Normalsteinen herstellt, empfiehlt es sich, die einzelnen Absätze so zu bemessen, dass deren Höhe einer bestimmten Schichtenzahl, deren Seitenlänge einer bestimmten Steinstärke entspricht.

Schornsteinsockel. Der Sockel ist so niedrig wie möglich zu halten, bei kleineren und mittleren Schornsteinen nimmt derselbe ca. $^1/_4$ bis $^1/_6$ der Höhe in Anspruch.

Schornsteinkopf. Die Schornsteinsäulen oben mit einem mehr oder weniger schönen, dabei vollständig zwecklosen Kapitäl zu versehen, ist zur Zeit noch fast allgemein üblich, und legt Zeugniss davon ab, wie schwer es der Menschheit fällt, von einem alten, durch die Gewohnheit geheiligten Zopf loszukommen.

Tabellen der Querschnitte für runde Schornsteine von gleicher Standfestigkeit.

a. Einrichtung. Die am Ende dieses Buches angefügten Tabellen haben nachstehende Einrichtung.

Es enthält:

Spalte 1) Die Höhe der Schornsteinsäule, welche an der Mündung mit 0 beginnt und von 1 m zu 1 m nach unten hin fortschreitet.

Spalte 2) Den äusseren Schornsteindurchmesser in der beistehenden Höhenlage.

Spalte 3) Den absoluten, kritischen Winddruck für einen Schornstein von der beistehenden Höhe.

Spalte 4) Das erforderliche Gewicht dieses Schornsteines.

Spalte 5), Spalte 6), Spalte 7) Den nöthigen Schornsteinquerschnitt in jeder Höhe, unter der Voraussetzung, dass das specifische Gewicht des Mauerwerkes: $\gamma = 1600$ kg, $\gamma = 1800$ kg, und $\gamma = 2000$ kg.

Die Spalte 8) deckt sich mit Spalte 1) und dient zur leichteren Uebersicht.

b. Gebrauch. Den Gebrauch der Tabellen wollen wir an dem im Abschnitt II gegebenen Beispiel erläutern.

Es betrug:

Die daselbst berechnete, lichte Weite des Schornsteines $d_0 = 1{,}100$ m, und die zugehörige Schornsteinhöhe . . . . . $h = 24$ m.

Für den Fall, dass Kesselanlage und Schornstein sich in einer Ebene befinden, ist zu beachten, dass der Planrost eines mit Innenfeuerung versehenen Flammrohrkessels rund 0,700 bis 0,900 m, im Mittel 0,800 m über dem Fussboden liegt, so dass unser Schornstein **als Bauwerk** eine Höhe von:

$$H = h + 0{,}800 \text{ m},$$

$$H \simeq 25 \text{ m}$$

zu erhalten hat.

Wählt man ferner für den Sockel eine Höhe von 5 m, so verbleiben für den Schaft noch 20 m, und giebt man dem Schornstein, seiner lichten Weite entsprechend, eine kleinste Wandstärke von 15 cm, so bestimmt sich der obere, äussere Durchmesser zu:

$$D_0 = 1{,}100 + 2 \cdot 0{,}150,$$
$$D_0 = 1{,}400 \text{ m}.$$

Das specifische Gewicht des Mauerwerkes ist bekannt; es betrage in unserem Falle 1800 kg.

Dem oberen, äusseren Durchmesser ($D_0 = 1{,}400$ m) entspricht die Tabelle V, während für das specifische Gewicht des Mauerwerkes ($\gamma = 1800$ kg) die Querschnitte in Spalte 6) dieser Tabelle massgebend sind.

Tragen wir jetzt (siehe Blatt X) die Höhen als Ordinaten und die Querschnitte als Abscissen auf, so erhalten wir die Curve *A B*. Die von dieser Linie und den Coordinatenachsen eingeschlossene Fläche *A B O* stellt die Massenvertheilung eines Schornsteines von gleicher Standfestigkeit dar. Wie leicht ersichtlich, müsste die Wandstärke eines solchen Schornsteines an der Mündung mit Null beginnen und nach unten hin stetig zunehmen.

Eine derartige Bauart verbietet sich in Folge ihrer Kostspieligkeit von selbst. Vielmehr ist es üblich, die Wandstärke einer Esse innen absatzweise um einen bestimmten Betrag zunehmen zu lassen. Hierbei kommt es aber, wenn man bei gegebener Standfestigkeit thunlichst sparsam bauen will, darauf an, dass das Massendiagramm der innen abgesetzten Esse mit dem Diagramm des Schornsteines von gleicher Standfestigkeit möglichst flächengleich wird. Fällt diese Fläche erheblich grösser aus, so resultirt eine unnöthig hohe Stabilität, wird sie dagegen kleiner, so sinkt die Standfestigkeit des Schornsteins unter die als nothwendig erachtete.

Wie aber gestaltet sich das Massendiagramm eines innen abgesetzten Schornsteines?

Die Masse eines Schornsteines, dessen Verjüngung und dessen Wandstärke durchaus constant ist, lässt sich, wie ohne Weiteres zu übersehen, als Trapez darstellen. Man hat nur den Querschnitt des Mauerwerkes an der Mündung und an der Basis in einem bestimmten Massstab aufzutragen und die erhaltenen Punkte geradlinig zu verbinden.

So stellt beispielsweise auf Blatt X die von *A* 15 15 *O*, *A* 20 20 *O*, *A* 25 25 *O*, *A* 30 30 *O* und *A* 35 35 *O* eingeschlossene Fläche das Massendiagramm eines Schornsteines dar, dessen Wandstärke durchaus 15, 20, 25, 30 und 35 cm misst.

Die äusserlich gleiche Esse dagegen, welche aus vier je fünf Meter hohen Absätzen besteht, deren Wandstärken von oben nach unten 15, 20, 25 und 30 cm betragen, besitzt das Massendiagramm:

$$A\ 15\ 15'\ 20'\ 20''\ 25'\ 25''\ 30'\ 30\ O.$$

Ein Blick auf die Zeichnung lässt erkennen, dass die Masse des innen abgesetzten Schornsteines nur wenig grösser ist, als diejenige des Schornsteines von gleicher Standfestigkeit, so dass es bei der Wahl von vier je fünf Meter hohen Absätzen bewenden kann.

Vielfach ist es jedoch nicht vortheilhaft, den Schornsteinabsätzen die gleiche Höhe zu geben. Um dies zu zeigen, ist auf Blatt XI mit Hülfe der Tabelle IV ein Schornstein von nachstehenden Abmessungen untersucht:

Es ist:

$$d_0 = 1{,}000 \text{ m},$$
$$D_0 = 1{,}300 \text{ m},$$
$$H = 20{,}000 \text{ m (Schafthöhe), und}$$
$$\gamma = 1800 \text{ kg}.$$

Als günstigste Höhen für die Absätze ergeben sich von oben angefangen:

4 m, 5 m, 5 m und 6 m.

Wollte man in diesem Fall fünf Absätze zu je vier Meter annehmen, so fiele die Stabilität zu gross aus, während bei vier Absätzen zu je fünf Meter die Standfestigkeit unter die gewählte Grenze sänke.

Ein Punkt jedoch ist bei der Vergleichung der Massendiagramme nicht ausser Acht zu lassen; es darf, von oben angefangen, die Masse des abgesetzten Schornsteines an keiner Stelle kleiner werden, als diejenige des Schornsteines von gleicher Standfestigkeit, da sonst die Esse mitten im Schaft einen, in Bezug auf die Stabilität gefährlichen Querschnitt erhielte. Dass es derartige Schornsteine giebt, beziehentlich gegeben hat, bestätigt ein in der Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure (Jahrgang 1884, Seite 584 und flg.) veröffentlichter Vortrag von Lütgen-Borgmann: „Ueber einige neuerdings eingestürzte Schornsteine", welche, wie die Textfigur auf Seite 585 zeigt, sämmtlich mitten im Schaft gebrochen sind.

In Wirklichkeit hat man nun nicht nöthig, zur Bestimmung der Absatzhöhen grosse Zeichnungen auszuführen; es genügt meist, wenn man das Massendiagramm des Schornsteines von gleicher Standfestigkeit auf Millimeterpapier aufträgt, ebenso die Massendiagramme der Schornsteine von gleicher Wandstärke einzeichnet und die Absätze freihändig angiebt.

Ein Vergleich der oberhalb und unterhalb der Linie AB gelegenen Flächentheile lehrt sodann, ob die gewählten Höhen beizubehalten, oder noch etwas zu verändern sind.

Beträgt das specifische Gewicht des Mauerwerkes $\gamma = 1700$ kg, beziehungsweise $\gamma = 1900$ kg, so enthalten unsere Tabellen hierfür keine direkten Querschnittsangaben. Man kann sich aber in diesem Falle auf zweierlei Weise helfen.

Entweder:

Man zeichnet das Massendiagramm des betreffenden Schornsteines einmal für $\gamma = 1600$ kg und dann für $\gamma = 1800$ kg, beziehentlich $\gamma = 1800$ kg und $\gamma = 2000$ kg und legt die dem specifischen Gewicht $\gamma = 1700$ kg, beziehungsweise $\gamma = 1900$ kg entsprechende Curve AB nach Gefühl ein,

oder:

Man multiplicirt die in Spalte 5) enthaltenen Werthe mit:

$$\frac{16}{17} = 0{,}941, \text{ beziehentlich } \frac{16}{19} = 0{,}842.$$

Auch die Zahlen der Spalte 3) sind, mit dem am Kopf der Tabelle stehenden Werth $\frac{1}{m}$ multiplicirt, bei Berechnung der Beanspruchung des Mauerwerkes wieder verwendbar. In dieser Gestalt geben sie den absoluten Winddruck auf einen Schornstein von der beistehenden Höhe an, unter der Voraussetzung, dass der specifische Winddruck:

$$w = 125 \text{ kg auf } 1 \text{ qm}$$

beträgt.

Anhang.

Zur Stabilitätsberechnung runder Schornsteine.

Wie dem Verfasser durch eine Mittheilung der Firma Ludwig Gussenbauer in Wien bekannt geworden ist, verlangen die Oesterreichischen Behörden bei Eingabe der Zeichnungen zu Fabrikschornsteinen auch eine Stabilitätsberechnung, und hat sich in Oesterreich auf Grund dieser Forderung nachstehendes Rechnungsverfahren eingebürgert.

Unter Beibehaltung der oben gewählten Bezeichnungen und Einführung der Bezeichnung H_3 für die Höhe des Säulenschaftes erhält man:

$$m \cdot \zeta \cdot w \cdot f \cdot s = G \cdot \frac{D}{2},$$

$$\text{I)} \quad m = \frac{G \cdot \frac{D}{2}}{\zeta \cdot w \cdot f \cdot s}.$$

Es ist aber:

$$f = \frac{D + D_0}{2} \cdot H_S,$$

$$s = \frac{D + 2 \cdot D_0}{D + D_0} \cdot \frac{H_S}{3}, \text{ folglich}$$

$$f \cdot s = (D + 2 \cdot D_0) \cdot \frac{H_S^2}{6}, \text{ und}$$

$$G = \frac{\pi \cdot H_S}{12} \cdot [(D^2 + D \cdot D_0 + D_0^2) - (d^2 + d \cdot d_0 + d_0^2)] \cdot \gamma.$$

Hierbei wurde stillschweigend vorausgesetzt, dass die Wandstärke des Mauerwerkes von oben nach unten stetig zunimmt, so dass sich der Rauminhalt der Schornsteinsäule als die Differenz zweier abgestumpfter Kegel darstellt.

Nunmehr wird:

$$\text{II)} \quad m = \frac{1}{\zeta \cdot w} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{D}{H_S} \cdot \frac{(D^2 + D \cdot D_0 + D_0^2) - (d^2 + d \cdot d_0 + d_0^2)}{(D + 2 \cdot D_0)} \cdot \gamma,$$

oder:

$$\text{III)} \quad m = \frac{\pi \cdot D}{400 \cdot H_S} \cdot \frac{(D^2 + D \cdot D_0 + D_0^2) - (d^2 + d \cdot d_0 + d_0^2)}{(D + 2 \cdot D_0)} \cdot \gamma,$$

wenn man, wie in Oesterreich gebräuchlich, die Werthe:

$$\zeta = \frac{2}{3} \text{ und}$$

$$w = 150 \text{ kg auf 1 qm}$$

in die Gleichung II) einsetzt.

Die Formel III) besagt, dass der betreffende Schornstein gegen Umwehen durch einen Sturm von 150 kg Druck auf 1 qm Fläche eine m-fache Sicherheit besitzt.

Der gefährliche Querschnitt fällt in Folge der angenommenen Massenvertheilung mit der Basis des Schornsteinschaftes zusammen; eine ungeschickte Wahl der einzelnen Absatzhöhen aber kann es, wie wir oben sahen, mit sich bringen, dass dieser Querschnitt höher, also mitten in den Säulenschaft, zu liegen kommt, für welchen Fall die vorstehend mitgetheilte, angenäherte Stabilitätsberechnung versagt.

Aus und zu Abschnitt IV.

Die Beanspruchung des Mauerwerkes.

(Hierzu: Blatt IV, V, VI, VII, VIII und IX.)

Bezeichnet:

σ die Beanspruchung des Mauerwerkes durch Winddruck und Eigenlast,
α die Entfernung des Schnittpunktes der Resultante aus Winddruck und Eigenlast vom Mittelpunkt des untersuchten Querschnittes,
P die Entfernung der Kernlinie vom Mittelpunkt,
M_W das Moment des Winddruckes,

} bei normal auftreffendem Wind,

und

σ', α', ϱ, $M_{W'}$ } die analogen Grössen { bei übereck wehendem Wind,

ferner:

D die äussere Weite, d die innere Weite } des Schornsteines,
F den Flächeninhalt des Schornsteinquerschnittes, und
G das auf F lastende Schornsteingewicht,

so wird allgemein:

Beanspruchung des Mauerwerkes durch Eigenlast und Winddruck. a. Allgemeine Formeln.

$$58)\quad \sigma = \frac{G}{F}\cdot\left(1 \pm \frac{\alpha}{P}\right), \qquad \sigma' = \frac{G}{F}\cdot\left(1 \pm \frac{\alpha'}{\varrho}\right),$$

und zwar gilt das positive Vorzeichen, für die dem Winde abgewendete, das negative Vorzeichen für die dem Winde zugekehrte Schornsteinseite.

Die Werthe für α und α' ergeben sich aus den Gleichungen:

$$\alpha = \frac{M_W}{G}, \qquad \alpha' = \frac{M_{W'}}{G},$$

während die Werthe für P und ϱ der umstehenden Tabelle zu entnehmen sind.

b. Centralkerne der gebräuchlichsten Schornsteinquerschnitte.

Tabelle der Centralkerne verschiedener Schornsteinquerschnitte.

Schornsteinquerschnitt	Centralkern	P	ϱ
Volles Quadrat	Quadrat	$\frac{D}{6}$	$\frac{D}{6 \cdot \sqrt{2}}$
Quadrat mit quadratischem Loch	Quadrat	$\frac{D}{6} \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right)$	$\frac{D}{6 \cdot \sqrt{2}} \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right)$
Quadrat mit achteckigem Loch	Quadrat	$\frac{2}{D} \cdot \frac{0{,}0833 \cdot D^4 - 0{,}0547 \cdot d^4}{D^2 - 0{,}8284 \cdot d^2}$	$\frac{\sqrt{2}}{D} \cdot \frac{0{,}0833 \cdot D^4 - 0{,}0547 \cdot d^4}{D^2 - 0{,}8284 \cdot d^2}$
Quadrat mit Kreisloch	Quadrat	$\frac{2}{D} \cdot \frac{0{,}0833\, D^4 - 0{,}0491 \cdot d^4}{D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2}$	$\frac{\sqrt{2}}{D} \cdot \frac{0{,}0833 \cdot D^4 - 0{,}0491 \cdot d^4}{D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2}$
Quadrat mit durchgehendem Kanal	—	$P_{min} = \frac{D}{6}$; $P_{max} = \frac{1}{6 \cdot D} \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2)$	$\frac{1}{16{,}97 \cdot D} \cdot (2\,D^2 + D \cdot d + d^2)$
Volles gleichseitiges Achteck	gleichseitiges Achteck	$0{,}132 \cdot D.$	$0{,}122 \cdot D.$
Gleichseitiges Achteck mit achteckigem Loch	gleichseitiges Achteck	$0{,}132 \cdot D \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right)$	$0{,}122 \cdot D \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right)$
Gleichseitiges Achteck mit Kreisloch	gleichseitiges Achteck	$\frac{2}{D} \cdot \frac{0{,}0547 \cdot D^4 - 0{,}0491 \cdot d^4}{0{,}8284 \cdot D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2}$	$\frac{1{,}848}{D} \cdot \frac{0{,}0547 \cdot D^4 - 0{,}0491 \cdot d^4}{0{,}8284 \cdot D^2 - 0{,}7854 \cdot d^2}$
Voller Kreis	Kreis	$\frac{D}{8}$	$\frac{D}{8}$
Kreisring	Kreis	$\frac{D}{8} \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right)$	$\frac{D}{8} \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right)$

Beträgt der specifische Druck des herrschenden Windes $\frac{1}{m}$ des kritischen, specifischen Winddruckes, so erhalten wir für die Gesammtbeanspruchung des Mauerwerkes quadratischer, achteckiger und runder Schornsteinsäulen auch die Gleichung: *c. Special-Formeln.*

$$59) \qquad \sigma = \frac{G}{F} \cdot \left(1 \pm \frac{C}{m \cdot \left[1 + \left(\frac{d}{D}\right)^2\right]}\right),$$

worin je nach der Schornsteinform für

$$C = 3{,}0000,$$
$$C = 3{,}7836, \text{ beziehentlich}$$
$$C = 4{,}0000$$

zu setzen ist.

Ferner hat man bei übereck wehendem Wind für achteckige Schornsteine auch die Gleichung:

$$60) \qquad \sigma' = \frac{G}{F} \cdot \left(1 \pm \frac{4{,}0522}{m \cdot \left[1 + \left(\frac{d}{D}\right)^2\right]}\right)$$

zu beachten.

Bezüglich der Belastung des Baugrundes, sowie der Beanspruchung des Mauerwerkes auf Druck sind folgende Zahlen gebräuchlich:*) *Zulässige Beanspruchung des Grundes und Mauerwerkes auf Druck.*

a) Belastung des Baugrundes:

Schornsteingrund	0,75—1,50 kg auf 1 qcm.
Guter Baugrund in Berlin (baupolizeiliche Vorschrift)	2,50 kg auf 1 qcm.
Viadukte der Berliner Stadtbahn	4,50 kg auf 1 qcm.
Hohe Esse zu Halsbrücke (Gneisfelsen)	5,20 kg auf 1 qcm.
Festgelagerter trockner Sand	6,00—8,00 kg auf 1 qcm.
Fester Lehmboden	6,00—8,00 kg auf 1 qcm.
East River-Brücke (Thonboden)	7,10 kg auf 1 qcm.

Bei schlechtem Baugrund empfiehlt sich die Herstellung einer ca. 1 m hohen Betonschicht, oder die Herstellung eines Pfahlrostes mit Betondecke, auf welche das Fundament des Schornsteines zu stehen kommt.

*) Siehe auch: „Baukunde des Architekten", bearbeitet von den Herausgebern der deutschen Bauzeitung und des deutschen Baukalenders. Berlin, Commissionsverlag von Ernst Töche, 1890.

b) Zulässiger Druck im Mauerwerk:

Gewöhnliches Ziegelmauerwerk . . . . . bis 7 kg auf 1 qcm.
Ziegelmauerwerk in Cementmörtel . . . . . bis 11 kg auf 1 qcm.
Bestes Klinkermauerwerk in Cementmörtel . . . . bis 15 kg auf 1 qcm.
Hohe Esse zu Halsbrücke:
Gelbe Thonsteine (von Grube „Ilse“ bei Senftenberg) in Cementmörtel:
Im Schaft und Sockel . . . . . bis 17 kg auf 1 qcm.
Im Grundmauerwerk . . . . . bis 9 kg auf 1 qcm.

Zulässige Beanspruchung des Mauerwerkes auf Zug.

Eine weitere Frage ist die, ob es gestattet ist, die Fugen eines Schornsteines auf Zug zu beanspruchen, und wenn ja, wie hoch?

Da heute ein Fabrikschornstein wohl kaum anders als in Cementmörtel aufgeführt wird, so sind mässige Zugspannungen zulässig und in der Praxis auch üblich.

Nach Professor Pinzger (vergleiche Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, Jahrgang 1884, Seite 584 und flg.) sind Schornsteine derart zu bauen, dass bei einem specifischen Winddruck von:

$$w = 200 \text{ kg auf 1 qm}$$

höchstens eine Zugspannung von 5 kg auf 1 qcm im Mauerwerk auftritt.

Auf Grund zahlreicher Untersuchungen moderner (runder) Schornsteine ist der Verfasser zu folgendem Ergebniss gelangt:

Beträgt die Stärke des Windes $w = 125$ kg auf 1 qm, und wählt man als Coefficient des Winddruckes für runde Schornsteine $\zeta = \frac{1}{2}$, beziehungsweise $\zeta = \frac{2}{3}$, so kann man in den Fugen einer mit Cementmörtel gemauerten Esse Zugspannungen bis 1,5 kg beziehungsweise bis 2,5 kg auf 1 qcm als zulässig erachten.

Das Mauerwerk der „Hohen Esse“ zu Halsbrücke wird nur auf Druck beansprucht.

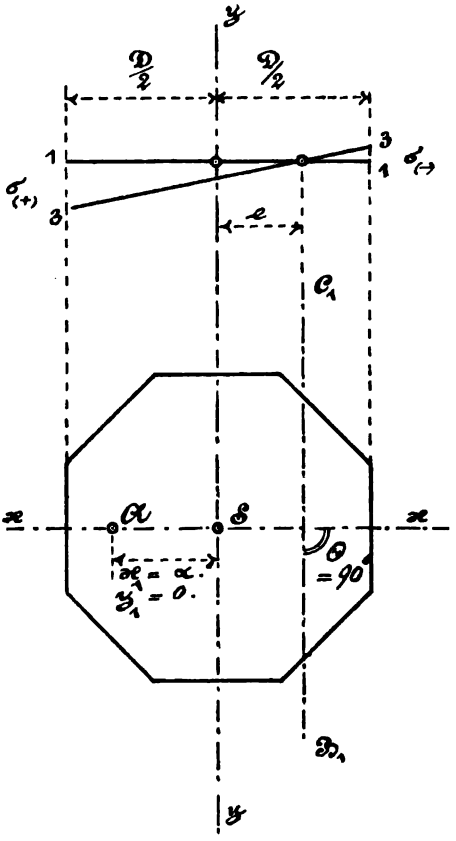
Beanspruchung des Mauerwerkes bei windseitig klaffenden Fugen.

Schliesslich sei an dieser Stelle noch folgender Auffassung Erwähnung gethan.*)

Wie man bei der Untersuchung der Standfestigkeit eines Schornsteins die Bindekraft des Mörtels nicht berücksichtigt, vielmehr verfährt, als ob die Esse aus losen Steinen aufgeschichtet ist, so kann man diese Kraft auch bei Berechnung der im Mauerwerk auftretenden Spannungen vernachlässigen und gelangt so zu folgendem Resultat.

*) Vergleiche hierzu auch die Anmerkung auf Seite 58 und 59.

Wird in einem gegebenen Fall für einen bestimmten Querschnitt $\alpha > P$, das heisst tritt windseitig Zug auf, so kann derselbe von den unverbunden aufeinanderliegenden Steinen nicht aufgenommen werden, und die Folge davon ist, dass die Fugen des Mauerwerkes windaufwärts klaffen. Nach eingetretenem Gleichgewicht ergiebt sich windabwärts eine Druckzunahme, welche sich wie folgt bestimmen lässt.



In beistehender Textfigur bezeichnet „1—1“ die Lage des zu untersuchenden Querschnittes bei Windstille und Gewichtlosigkeit des darüber befindlichen Mauerwerkes; „3—3“ die Lage desselben Querschnittes unter der Einwirkung des Winddruckes und des Schornsteingewichtes (vergleiche auch Blatt IV, Figur 3). Die Druckspannung windabwärts möge $\sigma_{(+)}$, die Zugspannung windaufwärts, welche der Mörtel aufzunehmen hätte, $\sigma_{(-)}$ betragen.

Sodann stellt sich bei klaffender Fuge windabwärts ein Druck ein:

$$\sigma = \sigma_{(+)} + \sigma_{(-)} \cdot \left[\frac{\frac{D}{2} - e}{\frac{D}{2} + e} \right]$$

63)
$$\sigma = \sigma_{(+)} + \sigma_{(-)} \cdot \left(\frac{D - 2e}{D + 2e} \right). \quad *)$$

Nun besitzt aber der Angriffspunkt A der Resultante aus Winddruck und Schornsteingewicht nach Gleichung 52) ganz allgemein die Coordinaten:

52)
$$\begin{cases} x_1 = -\dfrac{b^2 \cdot \sin \Theta}{e}, \\ y_1 = -\dfrac{a^2 \cdot \cos \Theta}{e}, \end{cases}$$

*) In dieser Formel ist die Zugspannung nicht dem Vorzeichen nach, sondern absolut zu nehmen.

und speciell in dem vorliegenden Fall die Coordinaten:

$$x_1 = \alpha = -\frac{b^2}{e},$$

$$y_1 = 0,$$

woraus sich der absolute Werth für e zu:

$$e = \frac{b^2}{\alpha}$$

bestimmt.

Hierin bezeichnet b den auf die Ordinatenachse bezogenen Trägheitshalbmesser des Querschnittes, und da bekanntlich

$$b^2 = \frac{J}{F},$$

so nimmt die Gleichung 63) die Gestalt an:

64a) $$\sigma = \sigma_{(+)} + \sigma_{(-)} \cdot \left(\frac{D \cdot F \cdot \alpha - 2 \cdot J}{D \cdot F \cdot \alpha + 2 \cdot J}\right),$$ *)

oder was dasselbe ist:

64b) $$\sigma = p \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{P}\right) - p \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{P}\right) \cdot \left(\frac{D \cdot F \cdot \alpha - 2 \cdot J}{D \cdot F \cdot \alpha + 2 \cdot J}\right).$$ **)

Die beim Schornsteinbau in Frage kommenden Querschnitte besitzen folgende Trägheitsmomente:

Quadrat: $J = \frac{1}{12} \cdot D^4 = 0{,}0833 \cdot D^4$;

gleichseitiges Achteck: $J = \ldots\ldots = 0{,}0547 \cdot D^4$;

Kreis: $J = \frac{\pi}{64} \cdot D^4 = 0{,}0491 \cdot D^4$.

---

*) Siehe Bemerkung auf Seite 71.

**) Diese Formel gilt innerhalb nachstehender Grenzen:

$$0 < e \leqq \frac{D}{2},$$

$$\infty > \alpha \geqq P,$$

$$\frac{\alpha}{P} \geqq 1.$$

Abschnitt VI.

Beispiele.

1. Beispiel.

(Hierzu Blatt XII.)

Für eine grössere, landwirthschaftliche Brennerei ist ein quadratischer Schornstein zu entwerfen; der Baugrund ist eben, so dass der Fussboden des Kesselhauses und der Essenfuss sich in gleicher Höhenlage befinden.

Die Abmessungen des zur Aufstellung gelangenden Heizröhrenkessels sind folgende:

Des Kesselmantels:	lichter Durchmesser	1,400 m,
	Länge	3,000 m;
des Dampfdomes:	lichter Durchmesser	0,800 m,
	Höhe	0,800 m;
der Heizröhren:	lichter Durchmesser	0,064 m,
	Länge	3,000 m;
	Anzahl	54.
Ferner beträgt:	die Heizfläche	40 qm,
	die Rostfläche	1,5 qm.

Der für eine höchste, zulässige Dampfspannung von 6 Atmosphären Ueberdruck concessionirte Kessel ist mit Unterfeuerung versehen; als Brennmaterial dient ein auf dem Gute selbst gewonnener Torf, welcher im Mittel nachstehende Zusammensetzung aufweist.

Es sind enthalten in 1 kg Torf:

0,42 kg	Kohlenstoff (C),
0,04 kg	Wasserstoff (H),
0,24 kg	Sauerstoff (O),
0,00 kg	Schwefel (S),
0,18 kg	Wasser (W), und
0,12 kg	Asche
in Summa 1,00 kg.	

Da der Kessel ausser für Brennereizwecke, wenn erforderlich gleichzeitig auch für landwirthschaftliche Zwecke, als Dreschen, Häckselschneiden u. s. w. Verwendung finden soll, so ist zu beachten, dass sich, wenn dieser Fall eintritt, die Dampfentnahme ziemlich unregelmässig gestaltet; und zwar beziffere sich die grösste Dampfleistung des Kessels, welche der Berechnung des Schornsteines zu Grunde gelegt werden muss, auf 25 kg Dampf pro 1 qm Heizfläche und Stunde.

Nach Gleichung 5) beträgt der Heizwerth des vorliegenden Brennmateriales:

$$5) \qquad \mathfrak{H} = \left(8100 \cdot C + 28800 \cdot (H - \frac{O}{8}) + 2500 \cdot S - 600 \cdot W\right).$$

$$\mathfrak{H} = 3582 \text{ W-E.}$$

Und da, wie aus der Tabelle Seite 53 ersichtlich, zur Erzeugung von 1 kg Dampf von 6 Atmosphären Ueberdruck theoretisch 656,5 ∼ 657 W-E. erforderlich sind, so ergiebt sich die theoretische Verdampfung unseres Torfes zu:

$$\frac{3582}{657} = 5{,}45 \text{ kg.}$$

In Wirklichkeit erreichen wir nur etwa 60% dieses Werthes, das heisst wir werden mit 1 kg Torf:

$$5{,}45 \cdot 0{,}60 = 3{,}27 \text{ kg Wasser verdampfen}$$

und müssen somit, entsprechend unserer obigen Angabe über die grösste Dampfleistung des Kessels, pro 1 qm Heizfläche und Stunde:

$$\frac{25}{3{,}27} = 7{,}64 \text{ kg,}$$

oder in der Stunde überhaupt:

$$B = 7{,}64 \cdot 40 = 305{,}6 \text{ kg} \sim 300 \text{ kg Torf}$$

verbrennen; das sind pro 1 qm Rostfläche und Stunde:

$$\frac{B}{f_r} = \frac{300}{1{,}5} = 200 \text{ kg Brennmaterial.}$$

Ein Kilogramm des gegebenen Brennstoffes bedarf zu seiner vollkommenen Verbrennung wenigstens:

$$1) \qquad Q = (\frac{8}{3} \cdot C + 8 \cdot H + S - O) \cdot 4{,}35,$$

$$Q = 5{,}22 \text{ kg Luft.}$$

Wir beabsichtigen, dem Verbrennungsprocess das Doppelte der theoretisch erforderlichen Luftmenge zuzuführen und erhalten so von 1 kg Torf:

3) $$L_1 = (x \cdot Q + 1),$$
$$L_1 = (2 \cdot 5{,}22 + 1) = 11{,}44 \text{ kg},$$

oder insgesammt pro Secunde:

4) $$L = \frac{B \cdot (x \cdot Q + 1)}{3600},$$
$$L = \frac{300 \cdot 11{,}44}{3600},$$
$$L = 0{,}953 \text{ kg Verbrennungsgase.}$$

Nunmehr können wir zur Berechnung der lichten Weite und Höhe des Schornsteines schreiten.

Wir erhalten:

Nach Gleichung 20b):

$$d_0 = \varkappa_3 \cdot L^{0{,}4} = 0{,}6360 \cdot 0{,}953^{0{,}4} = 0{,}624 \text{ m},$$
$$h = 20 \cdot d_0 = 12{,}480 \text{ m},$$

nach Gleichung 20c):

$$d_0 = \varkappa_4 \cdot L^{0{,}4} = 0{,}6045 \cdot 0{,}953^{0{,}4} = 0{,}593 \text{ m},$$
$$h = 25 \cdot d_0 = 14{,}825 \text{ m}$$

und nach Gleichung 20d):

$$d_0 = \varkappa_5 \cdot L^{0{,}4} = 0{,}5813 \cdot 0{,}953^{0{,}4} = 0{,}570 \text{ m},$$
$$h = 30 \cdot d_0 = 17{,}100 \text{ m}.$$

Da wir mit der Schornsteinhöhe nicht unter 16 m heruntergehen wollen, so lassen wir vorläufig die nach Gleichung 20d) gefundenen Werthe gelten, berechnen aber die lichte Weite des Schornsteines zur Kontrole noch einmal nach der Gleichung:

18) $$d_0 = \varkappa_2 \cdot \sqrt[5]{\frac{l + h + 260 \cdot d_0}{h} \cdot L^2},$$
$$d_0 = 0{,}3598 \cdot \sqrt[5]{\frac{14{,}6 + 17{,}1 + 260 \cdot d_0}{17{,}1} \cdot 0{,}953^2};$$

hierin haben wir die Länge der Heizkanäle: $l = 14{,}6$ m der Einmauerungszeichnung des Kessels entnommen.

Es folgt:

$$d_0 = 0{,}564 \text{ m},$$
$$h = 17{,}100 \text{ m}.$$

Beide Gleichungen liefern, wie wir sehen, für die lichte Weite des Schornsteines nahezu denselben Werth. Wir fanden:

$$d_0 = 0{,}570 \text{ m, beziehungsweise } d_0 = 0{,}564 \text{ m}$$
$$h = 17{,}100 \text{ m}$$

und wählen für die Ausführung:

$$\boldsymbol{d_0 = 0{,}600 \text{ m},}$$
$$\boldsymbol{H = 18 \text{ m},}$$

indem wir uns vergegenwärtigen, dass der Rost einer Unterfeuerung 0,700 m bis 0,900 m über dem Erdboden liegt, wir aber, wenn die Zugverhältnisse eines Schornsteines in Frage kommen, unter Schornsteinhöhe den lothrechten Abstand von Essenmündung und Rostfläche zu verstehen haben.

Weiter treffen wir folgende Bestimmungen:

Der Essenschaft erhält eine Höhe von: $H = 14$ m, und auf das steigende Meter eine Verjüngung von: $k = 0{,}050$ m; der Sockel wird 4 m hoch und zwar lothrecht aufgeführt; die obere Wandstärke nehmen wir zu: $d = 0{,}250$ m an; das specifische Gewicht des Mauerwerkes kann mit $\gamma = 1600$ kg für 1 cbm in Rechnung gestellt werden.

Bezüglich der Standfestigkeit wird verlangt, dass die Esse einen Winddruck von: $w = 250$ kg auf 1 qm Fläche noch auszuhalten vermag.

Unter Zuhilfenahme der Gleichungen:

35a) $$W = \zeta \cdot w \cdot \left(\frac{D + D_0}{2}\right) \cdot H$$

und

38a) $$G = \frac{\zeta \cdot w}{3} \cdot \left(\frac{D + 2 \cdot D_0}{D}\right) \cdot H^2,$$

in welche für: $\zeta = 1,$

und für: $D_0 = d_0 + 2 \cdot \delta = 0{,}600 + 2 \cdot 0{,}250,$

$$D_0 = 1{,}100 \text{ m}$$

zu setzen ist, berechnen wir nach Gleichung:

39) $$F = \frac{2}{D \cdot \gamma} \cdot \left(W - \frac{k}{2} \cdot G\right)$$

den in jeder Höhenlage erforderlichen Querschnitt des Mauerwerkes für einen Schornstein von gleicher Stabilität und stellen die erhaltenen Werthe in einer Tabelle zusammen.

Tabelle

der Querschnitte für einen quadratischen Schornstein von gleicher Standfestigkeit.

$d_0 = 0{,}600$ m; $D_0 = 1{,}100$ m; $k = 0{,}050$ m auf 1 m; $\zeta = 1$; $w = 250$ kg auf 1 qm.

1	2	3	4	5	6
Höhe, an der Mündung mit Null beginnend	Aeussere Weite des Schornsteins	Kritischer Winddruck (absolut)	Erforderliches Gewicht des Mauerwerkes	Erforderlicher Querschnitt des Mauerwerkes	Höhe, an der Mündung mit Null beginnend
m	m	kg	kg	qm	m
0	1,100	0	0	0,0000	0
1	1,150	281			1
2	1,200	575	944	0,5744	2
3	1,250	881			3
4	1,300	1200	3590	1,0675	4
5	1,350	1531			5
6	1,400	1875	7714	1,5019	6
7	1,450	2231			7
8	1,500	2600	13156	1,8926	8
9	1,550	2981			9
10	1,600	3375	19792	2,2502	10
11	1,650	3781			11
12	1,700	4200	27529	2,5822	12
13	1,750	4631			13
14	1,800	5075	36296	2,8942	14

Zeichnen wir jetzt, analog der Erläuterung in Abschnitt V, Seite 62 u. flg. das Massendiagramm unseres Schornsteines von gleicher Standfestigkeit, ferner die Massendiagramme einer äusserlich gleichen Schornsteinsäule von 25, 38 und 51 cm Wandstärke auf, und bilden wir aus Theilen der letzteren das Massendiagramm einer innen abgesetzten Esse, welches mit dem zuerst genannten Diagramm möglichst flächengleich ist, so erhalten wir für die einzelnen Absätze, von oben nach unten fortschreitend, die Höhen: 5, 5 und 4 m.

Ein Blick auf die Zeichnung, Blatt XII, Figur 1, lehrt, dass wir die Verjüngung unserer Esse $k = 0{,}050$ m, zu gering bemessen haben, da sich der Schornstein nach unten zu verengt.

Wir führen daher die Rechnung nochmals durch, indem wir an Stelle von: $k = 0{,}050$ m jetzt: $k = 0{,}060$ m setzen, während wir die übrigen Werthe unverändert lassen, und gelangen so zu nachstehender Tabelle.

Tabelle

der Querschnitte für einen quadratischen Schornstein von gleicher Standfestigkeit.

$d_0 = 0{,}600$ m; $D_0 = 1{,}100$ m; $k = 0{,}060$ m auf 1 m;
$\zeta = 1$; $w = 250$ kg auf 1 qm.

1	2	3	4	5	6
Höhe, an der Mündung mit Null beginnend	Aeussere Weite des Schornsteins	Kritischer Winddruck (absolut)	Erforderliches Gewicht des Mauerwerkes	Erforderlicher Querschnitt des Mauerwerkes	Höhe, an der Mündung mit Null beginnend
m	m	kg	kg	qm	m
0	1,100	0	0	0,0000	0
1	1,160	283			1
2	1,220	580	934	0,5656	2
3	1,280	893			3
4	1,340	1220	3522	1,0395	4
5	1,400	1563			5
6	1,460	1920	7521	1,4507	6
7	1,520	2293			7
8	1,580	2680	12759	1,8174	8
9	1,640	3083			9
10	1,700	3500	19118	2,1518	10
11	1,760	3933			11
12	1,820	4380	26505	2,4621	12
13	1,880	4843			13
14	1,940	5320	34856	2,7541	14

Die Massendiagramme für diesen Fall zeigt Blatt XII, Figur 2. Der Essenschaft erhält nur zwei Absätze, von 6 m, beziehungsweise 8 m Höhe.

Sockel und Fundament werden nunmehr nach Gefühl entworfen, indem man von dem Grundsatz ausgeht, dass die Beanspruchung des Mauerwerkes nach unten hin stetig bis auf die zulässige Belastung des Baugrundes abzunehmen hat. Ist die Zeichnung des Schornsteines fertig gestellt, so erübrigt nur noch, den Entwurf abermals auf die Standfestigkeit und ganz besonders auf die Beanspruchung des Mauerwerkes hin zu prüfen; wobei man gut thun wird, möglichst schematisch, wie nachfolgend geschehen, zu verfahren, indem man die Resultate tabellarisch ordnet.

(Siehe Tabelle auf Seite 80.)

Die Werthe der Spalten 1) bis 8) lassen sich ohne Weiteres an der Hand der Essenzeichnung (siehe Blatt XII) berechnen.

Die Angriffspunkte des Windes bestimmen sich wie folgt, es ist:

$$s_6 = \frac{D_6 + 2 \cdot D_0}{D_6 + D_0} \cdot \frac{H_6}{3} = \frac{1{,}460 + 2 \cdot 1{,}100}{1{,}460 + 1{,}100} \cdot \frac{6}{3} = 2{,}859 \text{ m};$$

$$s_{14} = \frac{D_{14} + 2 \cdot D_0}{D_{14} + D_0} \cdot \frac{H_{14}}{3} = \frac{1{,}940 + 2 \cdot 1{,}100}{1{,}940 + 1{,}100} \cdot \frac{14}{3} = 6{,}355 \text{ m};$$

$$s_{17} = \frac{1}{f_{17}} \cdot [f_{14} \cdot (s_{14} + 3) + (f_{17} - f_{14}) \cdot 1{,}5],$$

$$s_{17} = \frac{1}{27{,}88} \cdot [21{,}28 \cdot 9{,}355 + 6{,}6 \cdot 1{,}5] = 7{,}495 \text{ m};$$

$$s_{18} = \frac{1}{f_{18}} \cdot [f_{17} \cdot (s_{17} + 1) + (f_{18} - f_{17}) \cdot 0{,}5],$$

$$s_{18} = \frac{1}{30{,}21} \cdot [27{,}88 \cdot 8{,}495 + 2{,}33 \cdot 0{,}5] = 7{,}879 \text{ m};$$

$$s_{\mathrm{I}} = s_{18} + 0{,}700 = 8{,}579 \text{ m};$$

$$s_{\mathrm{II}'} = s_{18} + 1{,}100 = 8{,}979 \text{ m};$$

$$s_{\mathrm{II}} = s_{18} + 1{,}400 = 9{,}279 \text{ m};$$

$$s_{\mathrm{III}} = s_{18} + 2{,}100 = 9{,}979 \text{ m};$$

$$s_{\mathrm{IV}} = s_{18} + 2{,}800 = 10{,}679 \text{ m}.$$

Zur Berechnung des kritischen Winddruckes benutzen wir die Gleichung:

$$\zeta \cdot w \cdot f \cdot s = G \cdot \frac{D}{2},$$

$$w = \frac{1}{\zeta} \cdot \frac{G \cdot D}{2 \cdot f \cdot s},$$

und da für den quadratischen Querschnitt $\zeta = 1$ wird, so folgt:

$$w = \frac{G \cdot D}{2 \cdot f \cdot s}.$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		17
Höhenlage	Lichte Weite in der betr. Höhenlage	Aeussere Weite in der betr. Höhenlage	Wandstärke in der betr. Höhenlage	Querschnitt des Mauerwerks in der betr. Höhenlage	Rauminhalt des Mauerwerks über der betr. Höhenlage	Gewicht des Mauerwerks über der betr. Höhenlage	Vom Wind getroffene Fläche über der betr. Höhenlage	Angriffspunkt des Windes über der betr. Höhenlage	Kritischer Winddruck		Moment des Winddruckes ($w = 125$ kg auf 1 qm)	Entfernung des Schnittpunktes der Resultante vom Mittelpunkt	Entfernung der Kernlinie vom Mittelpunkt		Beanspruchung des Mauerwerkes		Höhenlage
															wind-abwärts	wind-aufwärts	
H	d	D	δ	F	V	G	f	s	w	$p = G : F$	M_W	$a = M_W : G$	P	$a : P$	$\sigma = p \cdot \left(1 + \frac{a}{P}\right)$	$\sigma = p \cdot \left(1 - \frac{a}{P}\right)$	H
m	m	m	m	qm	cbm	kg	qm	m	kg/qm	kg/qm	—	m	m	—	kg/qm	kg/qm	m
0	0,600	1,100	0,250	0,8500	0,0000	0	0,00	0,000	∞	0	0,00	0,000	0,238	0,000	0	0	0
6	0,960 0,700	1,460	0,250 0,380	1,2100 1,6416	6,1800	9888	7,68	2,859	329	8172	2744,64	0,278	0,348	0,799	14701	+ 1643	6
14	1,180 0,920	1,940 2,200	0,380 0,640	2,3712 3,9936	22,5484	36077	21,28	6,355	259	15215	16904,30	0,469	0,443	1,059	31328	— 898	14
17	920	2,200 2,330	0,640 0,705	3,9936 4,5825	34,5292	55247	27,88	7,495	291	13834	26120,08	0,473	0,431	1,097	29010	— 1342	17
18	920 0,700	2,330 2,850	0,705 1,075	4,5825 7,6325	39,1117	62579	30,21	7,879	306	13656	29753,07	0,475	0,449	1,058	28104	— 792	18
I	0,700	2,850 3,240	1,075 1,270	6,1275 8,2296	44,0407	70465	30,21	8,579	387	11500	32396,45	0,460	0,475	0,968	22632	+ 368	I
II'	0,700	3,240	1,270	8,2296 10,0076	47,3326	75732	30,21	8,979	452	9202	33906,95	0,448	0,540	0,830	16840	+ 1564	II'
II	0,700 0,000	3,240 3,630	1,270 1,465	10,0076 13,1769	50,3349	80536	30,21	9,279	465	8047	35039,82	0,435	0,565	0,770	14243	+ 1851	II
III	0,000	3,630 4,020	3,630 4,020	13,1769 16,1604	59,5587	95294	30,21	9,979	574	7232	37683,20	0,395	0,605	0,653	11954	+ 2510	III
IV	0,000	4,020	4,020	16,1604	70,8709	113393	30,21	10,679	706	7017	40326,57	0,356	0,670	0,531	10743	+ 3291	IV

Es findet sich:

$$w_6 = \frac{9888 \cdot 1{,}460}{2 \cdot 7{,}68 \cdot 2{,}859} = 329 \text{ kg auf 1 qm},$$

$$w_{14} = \frac{36077 \cdot 1{,}940}{2 \cdot 21{,}28 \cdot 6{,}355} = 259 \text{ kg auf 1 qm}.$$

$$w_{17} = \frac{55247 \cdot 2{,}200}{2 \cdot 27{,}88 \cdot 7{,}495} = 291 \text{ kg auf 1 qm},$$

$$w_{18} = \frac{62579 \cdot 2{,}330}{2 \cdot 30{,}21 \cdot 7{,}879} = 306 \text{ kg auf 1 qm},$$

$$w_{\mathrm{I}} = \frac{70465 \cdot 2{,}850}{2 \cdot 30{,}21 \cdot 8{,}579} = 387 \text{ kg auf 1 qm},$$

$$w_{\mathrm{II}'} = \frac{75732 \cdot 3{,}240}{2 \cdot 30{,}21 \cdot 8{,}979} = 452 \text{ kg auf 1 qm},$$

$$w_{\mathrm{II}} = \frac{80536 \cdot 3{,}240}{2 \cdot 30{,}21 \cdot 9{,}279} = 465 \text{ kg auf 1 qm},$$

$$w_{\mathrm{III}} = \frac{95294 \cdot 3{,}630}{2 \cdot 30{,}21 \cdot 9{,}979} = 574 \text{ kg auf 1 qm},$$

$$w_{\mathrm{IV}} = \frac{113393 \cdot 4{,}020}{2 \cdot 30{,}21 \cdot 10{,}679} = 706 \text{ kg auf 1 qm}.$$

Die Beanspruchung des Mauerwerkes durch das eigene Gewicht des Schornsteines ergiebt sich zu:

$$p = \frac{G}{F};$$

$$p_6 = \frac{9888}{1{,}2100} = 8172 \text{ kg auf 1 qm},$$

$$p_{14} = \frac{36077}{2{,}3712} = 15215 \text{ kg auf 1 qm},$$

$$p_{17} = \frac{55247}{3{,}9936} = 13834 \text{ kg auf 1 qm},$$

$$p_{18} = \frac{62579}{4{,}5825} = 13656 \text{ kg auf 1 qm},$$

$$p_{\mathrm{I}} = \frac{70465}{6{,}1275} = 11500 \text{ kg auf 1 qm},$$

$$p_{\mathrm{II}'} = \frac{75732}{8{,}2296} = 9202 \text{ kg auf 1 qm},$$

$$p_{\mathrm{II}} = \frac{80536}{10{,}0076} = 8047 \text{ kg auf 1 qm},$$

$$p_{\mathrm{III}} = \frac{95294}{13{,}1769} = 7232 \text{ kg auf 1 qm},$$

$$p_{\mathrm{IV}} = \frac{113393}{16{,}1604} = 7017 \text{ kg auf 1 qm}.$$

Wir berechnen nunmehr das Moment des Winddruckes unter der Voraussetzung, dass der specifische Winddruck:

$$w = 125 \text{ kg auf 1 qm beträgt.}$$

Wir haben allgemein:

$$M_W = \zeta \cdot 125 \cdot f \cdot s = 125 \cdot f \cdot s$$

und erhalten:

$$M_{W,6} = 125 \cdot 7{,}68 \cdot 2{,}859 = 2744{,}64,$$
$$M_{W,14} = 125 \cdot 21{,}28 \cdot 6{,}355 = 16904{,}30,$$
$$M_{W,17} = 125 \cdot 27{,}88 \cdot 7{,}495 = 26120{,}08,$$
$$M_{W,18} = 125 \cdot 30{,}21 \cdot 7{,}879 = 29753{,}07,$$
$$M_{W,I} = 125 \cdot 30{,}21 \cdot 8{,}579 = 32396{,}45,$$
$$M_{W,II'} = 125 \cdot 30{,}21 \cdot 8{,}979 = 33906{,}95,$$
$$M_{W,II} = 125 \cdot 30{,}21 \cdot 9{,}279 = 35039{,}82,$$
$$M_{W,III} = 125 \cdot 30{,}21 \cdot 9{,}979 = 37683{,}20,$$
$$M_{W,IV} = 125 \cdot 30{,}21 \cdot 10{,}679 = 40326{,}57.$$

Die Resultante aus Winddruck und Schornsteingewicht schneidet den zu untersuchenden Querschnitt in der Entfernung:

$$\alpha = \frac{M_W}{G} \text{ vom Mittelpunkt.}$$

Folglich wird:

$$\alpha_6 = \frac{2744{,}64}{9888} = 0{,}278 \text{ m},$$

$$\alpha_{14} = \frac{16904{,}30}{36077} = 0{,}469 \text{ m},$$

$$\alpha_{17} = \frac{26120{,}08}{55247} = 0{,}473 \text{ m},$$

$$\alpha_{18} = \frac{29753{,}07}{62579} = 0{,}475 \text{ m},$$

$$\alpha_I = \frac{32396{,}45}{70465} = 0{,}460 \text{ m},$$

$$\alpha_{II'} = \frac{33906{,}95}{75732} = 0{,}448 \text{ m},$$

$$\alpha_{II} = \frac{35039{,}82}{80536} = 0{,}435 \text{ m},$$

$$\alpha_{III} = \frac{37683{,}20}{95294} = 0{,}395 \text{ m},$$

$$\alpha_{IV} = \frac{40326{,}57}{113393} = 0{,}356 \text{ m}.$$

Die Entfernung der Kernlinie vom Mittelpunkt beträgt:

Bei dem Quadrat mit quadratischem Loch:

$$P = \frac{D}{6} \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right);$$

bei dem vollen Quadrat:

$$P = \frac{D}{6} \text{ und}$$

bei dem Quadrat mit durchgehendem Kanal:

$$P_{\min} = \frac{D}{6}.$$

Sonach ergiebt sich:

Für den Querschnitt 0—0:

$$P = \frac{1{,}100}{6} \cdot \left(1 + \left[\frac{0{,}600}{1{,}100}\right]^2\right) = 0{,}238 \text{ m};$$

für den Querschnitt 6—6:

$$P = \frac{1{,}460}{6} \cdot \left(1 + \left[\frac{0{,}960}{1{,}460}\right]^2\right) = 0{,}348 \text{ m};$$

für den Querschnitt 14—14:

$$P = \frac{1{,}940}{6} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}180}{1{,}940}\right]^2\right) = 0{,}443 \text{ m};$$

für den Querschnitt 17—17:

$$P = \frac{2{,}200}{6} \cdot \left(1 + \left[\frac{0{,}920}{2{,}200}\right]^2\right) = 0{,}431 \text{ m};$$

für den Querschnitt 18—18:

$$P = \frac{2{,}330}{6} \cdot \left(1 + \left[\frac{0{,}920}{2{,}330}\right]^2\right) = 0{,}449 \text{ m};$$

für den Querschnitt I—I:

$$P_{\min} = \frac{2{,}850}{6} = 0{,}475 \text{ m};$$

für den Querschnitt II'—II':

$$P_{\min} = \frac{3{,}240}{6} = 0{,}540 \text{ m};$$

für den Querschnitt II—II:

$$P = \frac{3{,}240}{6} \cdot \left(1 + \left[\frac{0{,}700}{3{,}240}\right]^2\right) = 0{,}565 \text{ m};$$

für den Querschnitt III—III:

$$P = \frac{3{,}630}{6} = 0{,}605 \text{ m};$$

für den Querschnitt IV—IV:

$$P = \frac{4{,}020}{6} = 0{,}670 \text{ m}.$$

Weiter folgt:

$$\frac{\alpha_6}{P_6} = \frac{0{,}278}{0{,}348} = 0{,}799;$$

$$\frac{\alpha_{14}}{P_{14}} = \frac{0{,}469}{0{,}443} = 1{,}059;$$

$$\frac{\alpha_{17}}{P_{17}} = \frac{0{,}473}{0{,}431} = 1{,}097;$$

$$\frac{\alpha_{18}}{P_{18}} = \frac{0{,}475}{0{,}449} = 1{,}058;$$

$$\frac{\alpha_{\mathrm{I}}}{P_{\mathrm{I}}} = \frac{0{,}460}{0{,}475} = 0{,}968;$$

$$\frac{\alpha_{\mathrm{II}'}}{P_{\mathrm{II}'}} = \frac{0{,}448}{0{,}540} = 0{,}830;$$

$$\frac{\alpha_{\mathrm{II}}}{P_{\mathrm{II}}} = \frac{0{,}435}{0{,}565} = 0{,}770;$$

$$\frac{\alpha_{\mathrm{III}}}{P_{\mathrm{III}}} = \frac{0{,}395}{0{,}605} = 0{,}653;$$

$$\frac{\alpha_{\mathrm{IV}}}{P_{\mathrm{IV}}} = \frac{0{,}356}{0{,}670} = 0{,}531.$$

Endlich berechnet sich die Beanspruchung des Mauerwerkes nach der Formel:

Entgegengesetzt der Windrichtung (windabwärts)	Auf der Windseite (windaufwärts)
$\sigma = p \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{P}\right)$,	$\sigma = p \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{P}\right)$,

woraus folgt:

$\sigma_6 = 8172.(1+0{,}799) = 14701$ kg	auf 1 qm.	$\sigma_6 = 8172\ (1-0{,}799) = +1643$ kg	auf 1 qm.
$\sigma_{14} = 15215.(1+1{,}059) = 31328$ kg		$\sigma_{14} = 15215.(1-1{,}059) = -898$ kg	
$\sigma_{17} = 13834.(1+1{,}097) = 29010$ kg		$\sigma_{17} = 13834.(1-1{,}097) = -1342$ kg	
$\sigma_{18} = 13656.(1+1{,}058) = 28104$ kg		$\sigma_{18} = 13656.(1-1{,}058) = -792$ kg	
$\sigma_{\mathrm{I}} = 11500.(1+0{,}968) = 22632$ kg		$\sigma_{\mathrm{I}} = 11500.(1-0{,}968) = +368$ kg	
$\sigma_{\mathrm{II}'} = 9202.(1+0{,}830) = 16840$ kg		$\sigma_{\mathrm{II}'} = 9202.(1-0{,}830) = +1564$ kg	
$\sigma_{\mathrm{II}} = 8047.(1+0{,}770) = 14243$ kg		$\sigma_{\mathrm{II}} = 8047.(1-0{,}770) = +1851$ kg	
$\sigma_{\mathrm{III}} = 7232.(1+0{,}653) = 11954$ kg		$\sigma_{\mathrm{III}} = 7232.(1-0{,}653) = +2510$ kg	
$\sigma_{\mathrm{IV}} = 7017.(1+0{,}531) = 10743$ kg		$\sigma_{\mathrm{IV}} = 7017.(1-0{,}531) = +3291$ kg	

Aus der tabellarischen Uebersicht auf Seite 80 erkennen wir nun Folgendes:

Unser Schornstein besitzt bezüglich der Standfestigkeit einen gefährlichen Querschnitt in der Höhenlage 14—14. Zwischen den Höhenlagen 6—6 und I—I wird das Mauerwerk auf Zug beansprucht; die grösste Zugspannung tritt in dem Querschnitt 17—17 auf und beträgt:

1342 kg pro 1 qm, oder 0,1342 kg pro 1 qcm,

ist also unbedenklich. Die grösste Inanspruchnahme auf Druck erleidet der Querschnitt 14—14 mit:

31328 kg auf 1 qm, oder 3,1328 kg auf 1 qcm.

Wenn wir in der Tiefe von 2,1 m, entsprechend dem Querschnitt III—III, guten Baugrund antreffen, so kann der letzte Fundament-Absatz in Wegfall kommen.

---

2. Beispiel.

(Hierzu Blatt XIII.)

Für eine Kesselanlage von 1200 qm Heizfläche und 40 qm Rostfläche ist ein achteckiger Schornstein zu berechnen und zu entwerfen.

Als Brennmaterial dient eine Braunkohle von nachstehender Zusammensetzung:

Kohlenstoff:	$C = 0{,}468$	kg,
Wasserstoff:	$H = 0{,}036$	kg,
Sauerstoff:	$O = 0{,}216$	kg,
Schwefel:	$S = 0{,}000$	kg,
Wasser:	$W = 0{,}180$	kg und
Asche:	$= 0{,}100$	kg.
	Insgesammt 1,000	kg.

Stündlich werden 5200 kg Kohlen verfeuert, so dass sich der Brennmaterialverbrauch auf 1 qm Rostfläche und Stunde zu 130 kg beziffert. Die vorhandenen Schüttroste liegen in der Höhe des Fussbodens; die Rauchkanäle besitzen eine Länge von 420 m.

Ein Kilogramm des gegebenen Brennstoffes bedarf zu seiner vollkommenen Verbrennung wenigstens Q kg Luft, welche wir nach der Gleichung:

1) $$Q = \left(\frac{8}{3} \cdot C + 8 \cdot H + S - O\right) \cdot 4{,}350$$

bestimmen; es wird:

$$Q = \left(\frac{8}{3} \cdot 0{,}468 + 8 \cdot 0{,}036 - 0{,}216\right) \cdot 4{,}350,$$

$$Q = 5{,}742 \text{ kg}.$$

Das vom Schornstein in der Secunde zu bewältigende Gewicht der Heizgase ergiebt sich, sobald wir dem Verbrennungsprocess das Doppelte der theoretisch erforderlichen Luftmenge zuführen, zu:

4) $$L = \frac{B \cdot (x \cdot Q + 1)}{3600},$$

$$L = \frac{5200 \cdot (2 \cdot 5{,}742 + 1)}{3600} \simeq 18 \text{ kg}.$$

Nunmehr schreiten wir zur Berechnung der lichten Weite des Schornsteines und erhalten:

Nach Gleichung 20c):

20c) $$d_0 = \varkappa_4 \cdot L^{0{,}4} = 0{,}6518 \cdot 18^{0{,}4} = 2{,}071 \text{ m},$$

$$\boldsymbol{d_0 \simeq 2{,}100 \text{ m}},$$

$$h = 25 \cdot d_0 = 25 \cdot 2{,}071 = 51{,}775 \text{ m},$$

$$\boldsymbol{h \simeq 52 \text{ m}};$$

nach Gleichung 18):

18) $$d_0 = \varkappa_2 \cdot \sqrt[5]{\frac{l + h + 260 \cdot d_0}{h} \cdot L^2},$$

$$d_0 = 0{,}3880 \cdot \sqrt[5]{\frac{420 + 52 + 260 \cdot d_0}{52} \cdot 18^2},$$

$$\boldsymbol{d_0 \simeq 2{,}250 \text{ m}},$$

$$\boldsymbol{h = 52 \text{ m}};$$

das heisst die Formel 18), welche die genaue Länge der Heizkanäle berücksichtigt, liefert eine etwas grössere Schornsteinweite, als die vereinfachte Péclet'sche Formel 20c).

Für die Ausführung wählen wir:

$$\boldsymbol{d_0 = 2{,}250 \text{ m}};$$

$$\boldsymbol{h = H = 52 \text{ m}}.$$

Weiter treffen wir folgende Bestimmungen. Die Esse erhält eine obere Wandstärke von: $\delta = 0{,}250$ m und eine Verjüngung von: $k = 0{,}040$ m auf das steigende Meter. Die Höhe des Schaftes nehmen wir zu 45 m, diejenige des Sockels zu 7 m an. Der kritische Winddruck sei: $w \geq 300$ kg auf 1 qm;

als Coefficienten des Winddruckes gelten: $\zeta = 0{,}71$ für den achteckigen Schaft, und: $\zeta = 1{,}00$ für den quadratischen Sockel. Das specifische Gewicht des Mauerwerkes betrage: $\gamma = 1800$ kg für 1 cbm.

An der Hand der Gleichungen:

35a) $$W = \zeta \cdot w \cdot \left(\frac{D + D_0}{2}\right) \cdot H,$$

38a) $$G = \frac{\zeta \cdot w}{3} \cdot \left(\frac{D + 2 \cdot D_0}{D}\right) \cdot H^2$$

und

39) $$F = \frac{2}{D \cdot \gamma} \cdot \left(W - \frac{k}{2} \cdot G\right)$$

berechnen wir nun die auf Seite 88 befindliche Tabelle.

Ein achteckiger Schornstein, welcher in der Höhenlage 0—0 den äusseren Durchmesser: $D_0 = 2{,}750$ m und in der Höhenlage 46—46 den äusseren Durchmesser $D_{46} = 4{,}590$ m besitzt und dessen Wandstärke: $\delta = 25$ cm; $\delta = 38$ cm, beziehungsweise: $\delta = 51$ cm beträgt, erhält folgende Querschnitte:

Im Niveau 0—0:

$$F_{0;25} = 0{,}8284 \cdot (2{,}750^2 - 2{,}250^2) = 2{,}0710 \text{ qm},$$
$$F_{0;38} = 0{,}8284 \cdot (2{,}750^2 - 1{,}990^2) = 2{,}9842 \text{ qm},$$
$$F_{0;51} = 0{,}8284 \cdot (2{,}750^2 - 1{,}730^2) = 3{,}7855 \text{ qm}.$$

Im Niveau 46—46:

$$F_{46;25} = 0{,}8284 \cdot (4{,}590^2 - 4{,}090^2) = 3{,}5953 \text{ qm},$$
$$F_{46;38} = 0{,}8284 \cdot (4{,}590^2 - 3{,}830^2) = 5{,}3011 \text{ qm},$$
$$F_{46;51} = 0{,}8284 \cdot (4{,}590^2 - 3{,}570^2) = 6{,}8949 \text{ qm}.$$

Auf Blatt XIII sind die Massendiagramme des Schornsteines von gleicher Standfestigkeit und diejenigen der Schornsteine von gleicher Wandstärke aufgetragen. Wir ersehen aus dieser Zeichnung, dass wir unter einseitiger Berücksichtigung der Stabilitätsverhältnisse den einzelnen Schornsteinabsätzen 18 m, 18 m und 9 m Höhe zu geben hätten, entschliessen uns jedoch, nur die beiden obersten, je 18 m hohen Absätze von 25 cm, beziehungsweise 38 cm Wandstärke auszuführen, und zerlegen den dritten 9 m hohen Absatz in 4 Theile von 3 m, 2 m, 2 m und 2 m Höhe, indem wir die Wandstärke von Stufe zu Stufe um $^1/_2$ Stein $= 13$ cm zunehmen lassen. Mit dieser Massnahme bezwecken und erreichen wir eine allmähliche Ueberführung des Schaftes in den Sockel. Ist sodann unser Entwurf durch Anfügung des Sockel- und Grundmauerwerkes ergänzt, so können wir zur endgiltigen Untersuchung der Esse in Bezug auf Standfestigkeit und Beanspruchung des Mauerwerkes übergehen; wobei wir uns des im vorigen Beispiel aufgestellten Schemas bedienen.

Tabelle

der Querschnitte für einen achteckigen Schornstein von gleicher Standfestigkeit.

$d_0 = 2{,}250$ m; $D_0 = 2{,}750$ m; $k = 0{,}040$ m auf 1 m; $\zeta = 0{,}71$; $w = 300$ kg auf 1 qm.

1	2	3	4	5	6
Höhe, an der Mündung mit Null beginnend	Aeussere Weite des Schornsteins	Kritischer Winddruck (absolut)	Erforderliches Gewicht des Mauerwerkes	Erforderlicher Querschnitt des Mauerwerkes	Höhe, an der Mündung mit Null beginnend
m	m	kg	kg	qm	m
0	2,750	0	0	0,0000	0
2	2,830	1189	836	0,4603	2
4	2,910	2411	3283	0,8955	4
6	2,990	3668	7259	1,3091	6
8	3,070	4959	12678	1,7030	8
10	3,150	6284	19525	2,0788	10
12	3,230	7642	27605	2,4389	12
14	3,310	9035	37017	2,7844	14
16	3,390	10463	47621	3,1172	16
18	3,470	11924	59580	3,4365	18
20	3,550	13419	72420	3,7467	20
22	3,630	14948	86597	4,0453	22
24	3,710	16512	101422	4,3377	24
26	3,790	18109	117590	4,6195	26
28	3,870	19741	134707	4,8943	28
30	3,950	21407	152721	5,1625	30
32	4,030	23106	171414	5,4253	32
34	4,110	24840	192058	5,6770	34
36	4,190	26608	212557	5,9286	36
38	4,270	28410	234780	6,1708	38
40	4,350	30246	256736	6,4141	40
42	4,430	32116	280547	6,6471	42
44	4,510	34020	304152	6,8827	44
46	4,590	35959	330419	7,1025	46

1	2	3	4	5	6	7	x	9	10	11	12	13	14	15	16		17
Höhenlage	Lichte Weite in der betr. Höhenlage	Aussere Weite in der betr. Höhenlage	Wandstärke in der betr. Höhenlage	Querschnitt des Mauerwerkes in der betr. Höhenlage	Rauminhalt des Mauerwerkes über der betr. Höhenlage	(ewicht des Mauerwerkes über der betr. Höhenlage	Vom Wind getroffene Fläche über der betr. Höhenlage	Angriffspunkt des Winddes über der betr. Höhenlage	Kritischer Winddruck	Beanspruchung durch Eigenlast	Moment des Winddruckes ($w - 125$ kg auf 1 qm)	Entfernung des Schnittpunktes der Resultante vom Mittelpunkt	Entfernung der Kernlinie vom Mittelpunkt		Beanspruchung des Mauerwerkes		Höhenlage
															windabwärts	windaufwärts	
H	d	D	δ	F	V	G	f	s	w	$\frac{p}{G} : F$	M_W	$e = \frac{M_W : G}{m}$	P	$\frac{e}{P}$	$\sigma = p \cdot \left(1 + \frac{e}{P}\right)$	$\sigma = p \cdot \left(1 - \frac{e}{P}\right)$	H
m	m	m	m	qm	cbm	kg	qm	m	kg/qm	kg/qm	—	m	m	—	kg/qm	kg/qm	m
0	2,250	2,750	0,250	2,0710	0,0000	0	0,0000	0,000	∞	0	0	0,000	0,606	0,00000	0	0	0
18	2,970 2,710	3,470	0,250 0,380	2,6674 3,8908	42,6456	76762	55,9800	8,653	387	28777	42990	0,560	0,794	0,70529	49073	+ 8481	18
36	3,430 3,170	4,190	0,380 0,510	4,7974 6,2190	120,8394	217511	124,9200	16,755	306	44922	185756	0,854	0,924	0,92424	86440	+ 3403	36
39	3,290 3,030	4,310	0,510 0,640	6,4218 7,7830	139,8005	251641	137,6700	18,004	307	39185	220710	0,877	0,900	0,97444	77368	+ 1002	39
41	3,110 2,850	4,390	0,640 0,770	7,9526 9,2363	155,5362	279965	146,3700	18,930	312	35204	245908	0,878	0,869	1,01036	70774	— 373	41
43	2,930 2,670	4,470	0,770 0,900	9,4404 10,6466	174,2129	313583	155,2300	19,793	321	33217	272681	0,853	0,843	1,01186	66828	— 394	43
45	2,750 2,100	4,550 5,000	0,900 1,450	10,8852 20,3900	195,7447	352340	164,2500	20,651	332	32369	301034	0,854	0,820	1,04146	66080	— 1342	45
52	2,100 0	5,200 5,580	1,550 3,580	16,1200 31,1364	328,8600	591948	164,2500 35,2000	27,651 3,483	459	36721	418399	0,707	0,867	0,81546	66666	+ 6776	52
V	0	8,700	8,700	75,6900	389,8420	1061716	desgl.	32,651 8,483	1124	14027	513285	0,483	1,450	0,33310	18699	+ 9354	V

In Spalte 9) wird:

$$s_{18} = \frac{3{,}470 + 5{,}500}{3{,}470 + 2{,}750} \cdot \frac{18}{3} = 8{,}653 \text{ m};$$

$$s_{36} = \frac{4{,}190 + 5{,}500}{4{,}190 + 2{,}750} \cdot \frac{36}{3} = 16{,}755 \text{ m};$$

$$s_{39} = \frac{4{,}310 + 5{,}500}{4{,}310 + 2{,}750} \cdot \frac{39}{3} = 18{,}064 \text{ m};$$

$$s_{41} = \frac{4{,}390 + 5{,}500}{4{,}390 + 2{,}750} \cdot \frac{41}{3} = 18{,}930 \text{ m};$$

$$s_{43} = \frac{4{,}470 + 5{,}500}{4{,}470 + 2{,}750} \cdot \frac{43}{3} = 19{,}793 \text{ m};$$

$$s_{45} = \frac{4{,}550 + 5{,}500}{4{,}550 + 2{,}750} \cdot \frac{45}{3} = 20{,}651 \text{ m};$$

$$s'_{52} = 20{,}651 + 7{,}000 = 27{,}651 \text{ m};$$

$$s''_{52} = 3{,}483 \text{ m};$$

$$s'_{V} = 20{,}651 + 12{,}000 = 32{,}651 \text{ m};$$

$$s''_{V} = 3{,}483 + 5{,}000 = 8{,}483.$$

In Spalte 10) wird:

$$w_{18} = \frac{76762 \cdot \frac{3{,}470}{2}}{0{,}71 \cdot 55{,}98 \cdot 8{,}653} = \frac{133182{,}070}{343{,}920} = 387 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{36} = \frac{217511 \cdot \frac{4{,}190}{2}}{0{,}71 \cdot 124{,}92 \cdot 16{,}755} = \frac{455685{,}545}{1486{,}05} = 306 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{39} = \frac{251641 \cdot \frac{4{,}310}{2}}{0{,}71 \cdot 137{,}67 \cdot 18{,}064} = \frac{542286{,}355}{1765{,}68} = 307 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{41} = \frac{279965 \cdot \frac{4{,}390}{2}}{0{,}71 \cdot 146{,}37 \cdot 18{,}930} = \frac{614523{,}175}{1967{,}26} = 312 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{43} = \frac{313583 \cdot \frac{4{,}470}{2}}{0{,}71 \cdot 155{,}23 \cdot 19{,}793} = \frac{700857{,}905}{2181{,}45} = 321 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{45} = \frac{352340 \cdot \frac{4{,}550}{2}}{0{,}71 \cdot 164{,}25 \cdot 20{,}651} = \frac{801573{,}500}{2408{,}27} = 332 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{52} = \frac{591948 \cdot \frac{5{,}200}{2}}{(0{,}71 \cdot 164{,}25 \cdot 27{,}651 + 1 \cdot 35{,}20 \cdot 3{,}483)} = \frac{1539064{,}800}{3347{,}19} = 459 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{V} = \frac{1061716 \cdot \frac{8{,}700}{2}}{(0{,}71 \cdot 164{,}25 \cdot 32{,}651 + 1 \cdot 35{,}20 \cdot 8{,}483)} = \frac{4618464{,}600}{4106{,}28} = 1124 \text{ kg auf 1 qm}.$$

In Spalte 11) wird:

$$p_{18} = \frac{76762}{2{,}6674} = 28777 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_{36} = \frac{217511}{4{,}7974} = 44922 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_{39} = \frac{251641}{6{,}4218} = 39185 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_{41} = \frac{279965}{7{,}9526} = 35204 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_{43} = \frac{313583}{9{,}4404} = 33217 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_{45} = \frac{352340}{10{,}8852} = 32369 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_{52} = \frac{591948}{16{,}1200} = 36721 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_V = \frac{1061716}{75{,}6900} = 14027 \text{ kg auf 1 qm.}$$

In Spalte 12) wird:

$$M_{W,18} = 125 \cdot 0{,}71 \cdot 55{,}98 \cdot 8{,}653 = 42990;$$

$$M_{W,36} = 125 \cdot 0{,}71 \cdot 124{,}92 \cdot 16{,}755 = 185756;$$

$$M_{W,39} = 125 \cdot 0{,}71 \cdot 137{,}67 \cdot 18{,}064 = 220710;$$

$$M_{W,41} = 125 \cdot 0{,}71 \cdot 146{,}37 \cdot 18{,}930 = 245908;$$

$$M_{W,43} = 125 \cdot 0{,}71 \cdot 155{,}23 \cdot 19{,}793 = 272681;$$

$$M_{W,45} = 125 \cdot 0{,}71 \cdot 164{,}25 \cdot 20{,}651 = 301034;$$

$$M_{W,52} = 125 \cdot (0{,}71 \cdot 164{,}25 \cdot 27{,}651 + 1 \cdot 35{,}20 \cdot 3{,}483) = 418399;$$

$$M_{W,V} = 125 \cdot (0{,}71 \cdot 164{,}25 \cdot 32{,}651 + 1 \cdot 35{,}20 \cdot 8{,}483) = 513285.$$

In Spalte 13) wird:

$$\alpha_{18} = \frac{42990}{76762} = 0{,}560 \text{ m};$$

$$\alpha_{36} = \frac{185756}{217511} = 0{,}854 \text{ m};$$

$$\alpha_{39} = \frac{220710}{251641} = 0{,}877 \text{ m};$$

$$\alpha_{41} = \frac{245908}{279965} = 0{,}878 \text{ m};$$

$$\alpha_{43} = \frac{272681}{313583} = 0{,}853 \text{ m};$$

$$\alpha_{45} = \frac{301034}{352340} = 0{,}854 \text{ m};$$

$$\alpha_{52} = \frac{418399}{591948} = 0{,}707 \text{ m};$$

$$\alpha_V = \frac{513285}{1061716} = 0{,}483 \text{ m}.$$

In Spalte 14) wird:

$$P_0 = 0{,}132 \cdot 2{,}750 \cdot \left(1 + \left[\frac{2{,}250}{2{,}750}\right]^2\right) = 0{,}606 \text{ m};$$

$$P_{18} = 0{,}132 \cdot 3{,}470 \cdot \left(1 + \left[\frac{2{,}970}{3{,}470}\right]^2\right) = 0{,}794 \text{ m};$$

$$P_{36} = 0{,}132 \cdot 4{,}190 \cdot \left(1 + \left[\frac{3{,}430}{4{,}190}\right]^2\right) = 0{,}924 \text{ m};$$

$$P_{39} = 0{,}132 \cdot 4{,}310 \cdot \left(1 + \left[\frac{3{,}290}{4{,}310}\right]^2\right) = 0{,}900 \text{ m};$$

$$P_{41} = 0{,}132 \cdot 4{,}390 \cdot \left(1 + \left[\frac{3{,}110}{4{,}390}\right]^2\right) = 0{,}869 \text{ m};$$

$$P_{43} = 0{,}132 \cdot 4{,}470 \cdot \left(1 + \left[\frac{2{,}930}{4{,}470}\right]^2\right) = 0{,}843 \text{ m};$$

$$P_{45} = 0{,}132 \cdot 4{,}550 \cdot \left(1 + \left[\frac{2{,}750}{4{,}550}\right]^2\right) = 0{,}820 \text{ m};$$

$$P_{52,\,\min} = \frac{5{,}200}{6} = 0{,}867 \text{ m};$$

$$P_V = \frac{8{,}700}{6} = 1{,}450.$$

In Spalte 15) wird:

$$\frac{\alpha_{18}}{P_{18}} = \frac{0{,}560}{0{,}794} = 0{,}70529;$$

$$\frac{\alpha_{36}}{P_{36}} = \frac{0{,}854}{0{,}924} = 0{,}92424;$$

$$\frac{\alpha_{39}}{P_{39}} = \frac{0{,}877}{0{,}900} = 0{,}97444;$$

$$\frac{\alpha_{41}}{P_{41}} = \frac{0{,}878}{0{,}869} = 1{,}01036;$$

$$\frac{\alpha_{43}}{P_{43}} = \frac{0{,}853}{0{,}843} = 1{,}01186;$$

$$\frac{\alpha_{45}}{P_{45}} = \frac{0{,}854}{0{,}820} = 1{,}04146;$$

$$\frac{\alpha_{52}}{P_{52}} = \frac{0{,}707}{0{,}867} = 0{,}81546;$$

$$\frac{\alpha_V}{P_V} = \frac{0{,}483}{1{,}450} = 0{,}33310;$$

und in Spalte 16) schliesslich wird:

Windabwärts		Windaufwärts	
$\sigma_{18} = 28777 \cdot 1{,}70529 = 49073$ kg		$\sigma_{18} = 28777 \cdot 0{,}29471 = +\ 8481$ kg	
$\sigma_{36} = 44922 \cdot 1{,}92424 = 86440$ kg		$\sigma_{36} = 44922 \cdot 0{,}07576 = +\ 3403$ kg	
$\sigma_{39} = 39185 \cdot 1{,}97444 = 77368$ kg	auf 1 qm.	$\sigma_{39} = 39185 \cdot 0{,}02556 = +\ 1002$ kg	auf 1 qm.
$\sigma_{41} = 35204\ \ 2{,}01036 = 70774$ kg		$\sigma_{41} = 35204 \cdot -0{,}01036 = -\ 373$ kg	
$\sigma_{43} = 33217 \cdot 2{,}01186 = 66828$ kg		$\sigma_{43} = 33217 \cdot -0{,}01186 = -\ 394$ kg	
$\sigma_{45} = 32369 \cdot 2{,}04146 = 66080$ kg		$\sigma_{45} = 32369 \cdot -0{,}04146 = -1342$ kg	
$\sigma_{52} = 36721 \cdot 1{,}81546 = 66666$ kg		$\sigma_{52} = 36721 \cdot 0{,}18454 = +\ 6776$ kg	
$\sigma_{V} = 14027 \cdot 1{,}33310 = 18699$ kg		$\sigma_{V} = 14027 \cdot 0{,}66690 = +\ 9354$ kg	

Wir sind zu folgendem Resultat gelangt: Bezüglich der Stabilität besitzt der Schornstein zwischen den Höhenlagen 36—36 und 39—39 gefährliche Querschnitte.

Der Maximaldruck tritt im Querschnitt 36—36 ein und beträgt

86440 kg auf 1 qm,
= 8,644 kg auf 1 qcm,

hält sich somit unter der zulässigen Grenze.

Die Zugspannungen sind verschwindend; sie wachsen im Querschnitt 45—45 bis auf

1342 kg pro 1 qm,
= 0,1342 kg pro 1 qcm an.

Die Belastung des Baugrundes mit:

18699 kg auf 1 qm,
= 1,870 kg pro 1 qcm

kann gegebenen Falles zu hoch sein, und führt dieser Umstand dann zu einer Vergrösserung der Fundamentbasis In unserem Beispiel möge dieser Bodendruck das zulässige Mass noch nicht erreichen.

Nunmehr wenden wir uns erstmalig dem Einfluss zu, welchen der übereckwehende Wind ausübt.

Für das achtseitige Prisma fanden wir früher:

$$W' = 0{,}9896 \cdot W \sim W,$$

$$\alpha' \sim \alpha,$$

$$\varrho = \frac{1}{1{,}08} \cdot P;$$

folglich wird:

$$\frac{\alpha'}{\varrho} = 1{,}08 \cdot \frac{\alpha}{P},$$

und wir erhalten:

$$\frac{\alpha'_{18}}{\varrho_{18}} = 1{,}08 \cdot 0{,}70529 = 0{,}76171;$$

$$\frac{\alpha'_{36}}{\varrho_{36}} = 1{,}08 \cdot 0{,}92424 = 0{,}99818;$$

$$\frac{\alpha'_{39}}{\varrho_{39}} = 1{,}08 \cdot 0{,}97444 = 1{,}05240;$$

$$\frac{\alpha'_{41}}{\varrho_{41}} = 1{,}08 \cdot 1{,}01036 = 1{,}09119;$$

$$\frac{\alpha'_{43}}{\varrho_{43}} = 1{,}08 \cdot 1{,}01186 = 1{,}09281;$$

$$\frac{\alpha'_{45}}{\varrho_{45}} = 1{,}08 \cdot 1{,}04146 = 1{,}12478.$$

Setzt man weiter voraus, dass das Moment des Winddruckes bei übereckwehendem Winde auch für die Höhenlagen 52—52 und V—V constant bleibt, das heisst vernachlässigt man bezüglich des Winddruckes den Einfluss des quadratischen Sockels, so ergiebt sich:

$$\alpha'_{52} = \alpha_{52}, \quad \alpha'_{V} = \alpha_{V},$$

und da:

$$\varrho_{52} = \frac{1}{16{,}97 \cdot 5{,}200} \cdot (2 \cdot 5{,}200^2 + 5{,}200 \cdot 2{,}100 + 2{,}100^2) = 0{,}787 \text{ m},$$

$$\varrho_{V} = \frac{1}{1{,}41} \cdot P,$$

so folgt:

$$\frac{\alpha'_{52}}{\varrho_{52}} = \frac{0{,}707}{0{,}787} = 0{,}89835,$$

$$\frac{\alpha'_{V}}{\varrho_{V}} = 1{,}41 \cdot 0{,}33310 = 0{,}46967.$$

Demnach finden wir bei übereckwehendem Wind nachstehende Beanspruchung des Mauerwerkes:

Windabwärts:		Windaufwärts:	
$\sigma'_{18} = 28777 \cdot 1{,}76171 = 50697$ kg	auf 1 qm.	$\sigma'_{18} = 28777 \cdot 0{,}23829 = +\ 6857$ kg	auf 1 qm.
$\sigma'_{36} = 44922 \cdot 1{,}99818 = 89762$ kg		$\sigma'_{36} = 44922 \cdot 0{,}00182 = +\ 82$ kg	
$\sigma'_{39} = 39185 \cdot 2{,}05240 = 80423$ kg		$\sigma'_{39} = 39185 \cdot -0{,}05240 = -2053$ kg	
$\sigma'_{41} = 35204 \cdot 2{,}09119 = 73618$ kg		$\sigma'_{41} = 35204 \cdot -0{,}09119 = -3210$ kg	
$\sigma'_{43} = 33217 \cdot 2{,}09281 = 69517$ kg		$\sigma'_{43} = 33217 \cdot -0{,}09281 = -3083$ kg	
$\sigma'_{45} = 32369 \cdot 2{,}12478 = 68777$ kg		$\sigma'_{45} = 32369 \cdot -0{,}12478 = -4039$ kg	
$\sigma'_{52} = 36721 \cdot 1{,}89835 = 69716$ kg		$\sigma'_{52} = 36721 \cdot 0{,}10165 = +\ 3733$ kg	
$\sigma'_{V} = 14027 \cdot 1{,}46967 = 20615$ kg		$\sigma'_{V} = 14027 \cdot 0{,}53033 = +\ 7439$ kg	

Wie wir sehen, kann keine der auftretenden Materialspannungen dem Bauwerk gefährlich werden, da sie sämmtlich das zulässige Mass nicht überschreiten.

Vergleicht man aber die Verhältnisse, welche sich bezüglich der Materialbeanspruchung im Schornstein einstellen, sobald der normal stehende Wind eine Richtung annimmt, in welcher er die Esse übereck trifft, so findet man:

Es beträgt bei:

Normal auftreffendem Winde:	Uebereckwehendem Winde:
Die grösste Zugspannung im Querschnitt 45—45:	
1342 kg auf 1 qm,	4039 kg auf 1 qm: Zunahme 3697 kg, oder rund 275 %.
Der grösste Druck im Querschnitt 36—36:	
86440 kg auf 1 qm,	89762 kg auf 1 qm; Zunahme 3322 kg, oder rund 4 %.
Die Belastung des Baugrundes:	
18699 kg auf 1 qm,	20615 kg auf 1 qm; Zunahme 1916 kg, oder rund 10 %.

Bei dem Entwurf achteckiger Schornsteine ist den etwaigen Zugspannungen volle Aufmerksamkeit zu schenken; es empfiehlt sich sehr, dahin zu wirken, dass das Mauerwerk derartiger Essen bei normal auftreffendem Winde nur auf Druck beansprucht wird.

---

3. Beispiel.

(Hierzu Blatt XIV, Figur 1.)

Für nachstehende Kesselanlage ist ein runder Schornstein zu berechnen und zu entwerfen.

Zur Aufstellung gelangen zwei Stück Zweiflammrohrkessel von je 100 qm Heizfläche und je 3 qm Rostfläche. Die Länge eines solchen Kessels beträgt 10 m, der Durchmesser 2,200 m. Die Feuerung ist eine Innen-

feuerung; als Brennmaterial dient mittlere Steinkohle, von welcher stündlich auf 1 qm Rostfläche 80 kg verbrannt werden.

Wir haben dieses Beispiel bereits in den Abschnitten II und V, Seite 21 und 22, beziehungsweise Seite 62 und flg. behandelt und daselbst Folgendes gefunden.

An der Mündung beträgt:

Die lichte Weite der Esse: $d_0 = 1{,}100$ m,

die äussere Weite derselben: $D_0 = 1{,}400$ m.

Der Schornstein als Bauwerk erhält eine Höhe von 25 m; von dieser entfallen 5 m auf den Sockel, und 20 m auf den Schaft. Letzterer besteht aus vier, je 5 m hohen Absätzen von 15, 20, 25 und 31 cm Wandstärke.

Die Esse verjüngt sich auf das steigende Meter um 0,050 m. Das Gewicht von 1 cbm Mauerwerk beträgt: $\gamma = 1800$ kg.

Die Grenze der Standfestigkeit soll erst bei einem Winddruck von:

$$w \geq 225 \text{ kg auf 1 qm}$$

erreicht werden. Als Coefficient des Winddruckes ist:

Für den Kreiscylinder: $\zeta = 0{,}67$,

für das achtseitige Prisma: $\zeta = 0{,}71$, und

für das quadratische Prisma: $\zeta = 1{,}00$

festzuhalten.

Blatt XIV, Figur 1, zeigt den fertigen Entwurf unseres Schornsteins. Wir schreiten zur Untersuchung der Esse in Bezug auf Standfestigkeit und Beanspruchung des Mauerwerkes und bedienen uns hierbei der auf Seite 80 erstmalig angewandten Tabelle.

(Siehe Tabelle auf Seite 97.)

Zur Berechnung der Werthe in Spalte 1)—7) ist nichts zu erwähnen. In Spalte 8) hat man von der Höhenlage: 20—20 an abwärts die Projektionen der windgetroffenen Flächen, als: abgestumpfter Kegel, achteckiges und quadratisches Prisma, wegen der Verschiedenheit der Coefficienten für den Winddruck getrennt zu halten. In Folge dessen treten auch in Spalte 9) von der Höhenlage 20—20 an abwärts die Werthe s für die einzelnen Flächen getrennt auf.

Die Lagen der Angriffspunkte des Winddruckes finden sich wie folgt:

$$s_5 = \frac{D_5 + 2 \cdot D_0}{D_5 + D_0} \cdot \frac{H_5}{3} = \frac{4{,}450}{3{,}050} \cdot \frac{5}{3} = 2{,}432 \text{ m},$$

$$s_{10} = \frac{D_{10} + 2 \cdot D_0}{D_{10} + D_0} \cdot \frac{H_{10}}{3} = \frac{4{,}700}{3{,}300} \cdot \frac{10}{3} = 4{,}747 \text{ m};$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		17
H	d	D	δ	F	V	G	f	s	w	$p = G:F$	M_W	$\alpha = M_W : G$	P	$\frac{\alpha}{P}$	$\sigma = p\cdot\left(1+\frac{\alpha}{P}\right)$	$\sigma = p\cdot\left(1-\frac{\alpha}{P}\right)$	H
m	m	m	m	qm	cbm	kg	qm	m	kg/qm	kg/qm	—	m	m	—	kg/qm	kg/qm	m
0	1,100	1,400	0,150	0,58905	0,000	0	0,0000	0,000	∞	0	0,000	0,000	0,283	0,00000	0	0	0
5	1,350 1,250	1,650	0,150 0,200	0,70686 0,91107	3,240	5832	7,6250	2,432	389	8251	1553,060	0,266	0,344	0,77326	14631	+ 1871	5
10	1,500 1,400	1,900	0,200 0,250	1,06814 1,29591	8,188	14738	16,5000	4,747	268	13798	6559,760	0,445	0,385	1,15584	29746	— 2150	10
15	1,650 1,530	2,150	0,250 0,310	1,49225 1,79196	15,158	27284	26,6250	6,972	237	18284	15546,470	0,570	0,427	1,33489	42691	— 6123	15
20	1,780 1,570	2,400 2,590	0,310 0,510	2,03543 3,51507	24,727	44509	38,0000	9,123	231	21866	29023,947	0,652	0,465	1,40215	52525	— 8793	20
24	1,310 1,180	2,850 2,980	0,770 0,900	6,40640 7,48800	48,791	87824	38,0000 1,3986 9,8610	13,123 3,730 1,730	352	13709	44359,375	0,505	0,575	0,87826	25749	+ 1669	24
25	1,180	2,980 3,370	0,900 1,095	7,48800 9,96450	56,279	101302	38,0000 1,3986 9,8610 2,9800	14,123 4,730 2,730 0,500	384	13529	49084,875	0,485	0,575	0,84348	24940	+ 2118	25
I	1,180	3,370 3,760	1,095 1,290	9,96450 12,74520	62,258	112064	desgl.	14,723 5,330 3,330 1,100	453	11246	52031,925	0,464	0,630	0,73651	19529	+ 2963	I
II	1,180	3,760 4,150	1,290 1,485	9,70080 12,32550	68,685	123633	desgl.	15,323 5,930 3,930 1,700	528	12745	54978,975	0,445	0,627	0,70973	21791	+ 3699	II
III	1,180 0	4,150 4,540	1,485 4,540	12,32550 20,61160	76,080	136944	desgl.	15,923 6,530 4,530 2,300	613	11111	57926,025	0,423	0,692	0,61127	17903	+ 4319	III
IV	0	4,540 4,930	4,540 4,930	20,61160 24,30490	88,447	159205	desgl.	16,523 7,130 5,130 2,900	742	7724	60873,075	0,382	0,757	0,50462	11622	+ 3826	IV
V	0	4,930	4,930	24,30490	103,030	185454	desgl.	17,123 7,730 5,730 3,500	895	7630	63820,125	0,344	0,822	0,41849	10823	+ 4437	V

$$s_{15} = \frac{D_{15} + 2 \cdot D_0}{D_{15} + D_0} \cdot \frac{H_{15}}{3} = \frac{4{,}950}{3{,}550} \cdot \frac{15}{3} = 6{,}972 \text{ m};$$

$$s_{20} = \frac{D_{20} + 2 \cdot D_0}{D_{20} + D_0} \cdot \frac{H_{20}}{3} = \frac{5{,}200}{3{,}800} \cdot \frac{20}{3} = 9{,}123 \text{ m};$$

$$s'_{24} = s_{20} + 4{,}000 = 9{,}123 + 4{,}000 = 13{,}123 \text{ m},$$

$$s''_{24} = \frac{0{,}540}{2} + 3{,}460 = 3{,}730 \text{ m},$$

$$s'''_{24} = \frac{3{,}460}{2} = 1{,}730 \text{ m};$$

$$s'_{25} = s'_{24} + 1{,}000 = 13{,}123 + 1{,}000 = 14{,}123 \text{ m},$$
$$s''_{25} = s''_{24} + 1{,}000 = 3{,}730 + 1{,}000 = 4{,}730 \text{ m},$$
$$s'''_{25} = s'''_{24} + 1{,}000 = 1{,}730 + 1{,}000 = 2{,}730 \text{ m},$$
$$s''''_{25} = \frac{1{,}000}{2} = 0{,}500;$$

$$s'_{\text{I}} = s'_{25} + 0{,}600 = 14{,}123 + 0{,}600 = 14{,}723 \text{ m},$$
$$s''_{\text{I}} = s''_{25} + 0{,}600 = 4{,}730 + 0{,}600 = 5{,}330 \text{ m},$$
$$s'''_{\text{I}} = s'''_{25} + 0{,}600 = 2{,}730 + 0{,}600 = 3{,}330 \text{ m},$$
$$s''''_{\text{I}} = s''''_{25} + 0{,}600 = 0{,}500 + 0{,}600 = 1{,}100 \text{ m};$$

$$s'_{\text{II}} = s'_{25} + 1{,}200 = 14{,}123 + 1{,}200 = 15{,}323 \text{ m},$$
$$s''_{\text{II}} = s''_{25} + 1{,}200 = 4{,}730 + 1{,}200 = 5{,}930 \text{ m},$$
$$s'''_{\text{II}} = s'''_{25} + 1{,}200 = 2{,}730 + 1{,}200 = 3{,}930 \text{ m},$$
$$s''''_{\text{II}} = s''''_{25} + 1{,}200 = 0{,}500 + 1{,}200 = 1{,}700 \text{ m};$$

$$s'_{\text{III}} = s'_{25} + 1{,}800 = 14{,}123 + 1{,}800 = 15{,}923 \text{ m},$$
$$s''_{\text{III}} = s''_{25} + 1{,}800 = 4{,}730 + 1{,}800 = 6{,}530 \text{ m},$$
$$s'''_{\text{III}} = s'''_{25} + 1{,}800 = 2{,}730 + 1{,}800 = 4{,}530 \text{ m},$$
$$s''''_{\text{III}} = s''''_{25} + 1{,}800 = 0{,}500 + 1{,}800 = 2{,}300 \text{ m};$$

$$s'_{\text{IV}} = s'_{25} + 2{,}400 = 14{,}123 + 2{,}400 = 16{,}523 \text{ m},$$
$$s''_{\text{IV}} = s''_{25} + 2{,}400 = 4{,}730 + 2{,}400 = 7{,}130 \text{ m},$$
$$s'''_{\text{IV}} = s'''_{25} + 2{,}400 = 2{,}730 + 2{,}400 = 5{,}130 \text{ m},$$
$$s''''_{\text{IV}} = s''''_{25} + 2{,}400 = 0{,}500 + 2{,}400 = 2{,}900 \text{ m};$$

$$s'_{\text{V}} = s'_{25} + 3{,}000 = 14{,}123 + 3{,}000 = 17{,}123 \text{ m},$$
$$s''_{\text{V}} = s''_{25} + 3{,}000 = 4{,}730 + 3{,}000 = 7{,}730 \text{ m},$$
$$s'''_{\text{V}} = s'''_{25} + 3{,}000 = 2{,}730 + 3{,}000 = 5{,}730 \text{ m},$$
$$s''''_{\text{V}} = s''''_{25} + 3{,}000 = 0{,}500 + 3{,}000 = 3{,}500 \text{ m}.$$

Zur Berechnung des kritischen Winddruckes benutzen wir die Formel:

$$\zeta \cdot w \cdot f \cdot s = \frac{G \cdot D}{2},$$

welche, nach w aufgelöst, für den Kreisquerschnitt die Gestalt annimmt:

$$w = 0{,}75 \cdot \frac{G \cdot D}{f \cdot s}.$$

Sonach wird:

$$w_5 = 0{,}75 \cdot \frac{5832 \cdot 1{,}650}{7{,}6250 \cdot 2{,}432} = 389 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{10} = 0{,}75 \cdot \frac{14738 \cdot 1{,}900}{16{,}5000 \cdot 4{,}747} = 268 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{15} = 0{,}75 \cdot \frac{27284 \cdot 2{,}150}{26{,}6250 \cdot 6{,}972} = 237 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{20} = 0{,}75 \cdot \frac{44509 \cdot 2{,}400}{38{,}0000 \cdot 9{,}123} = 231 \text{ kg auf 1 qm};$$

Weiter folgt:

$$w_{24} = \frac{87824 \cdot 2{,}850}{2 \cdot (0{,}67 \cdot 38{,}0000 \cdot 13{,}123 + 0{,}71 \cdot 1{,}3986 \cdot 3{,}730 + 1 \cdot 9{,}8610 \cdot 1{,}730)'}$$

$$w_{24} = 352 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{25} = \frac{101302 \cdot 2{,}980}{2.(0{,}67.38{,}0000.14{,}123 + 0{,}71.1{,}3986.4{,}730 + 1.9{,}8610.2{,}730 + 1.2{,}9800.0{,}500)'}$$

$$w_{25} = 384 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{\mathrm{I}} = \frac{112064 \cdot 3{,}370}{2.(0{,}67.38{,}0000.14{,}723 + 0{,}71.1{,}3986.5{,}330 + 1.9{,}8610.3{,}330 + 1.2{,}9800.1{,}100)'}$$

$$w_{\mathrm{I}} = 453 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{\mathrm{II}} = \frac{123633 \cdot 3{,}760}{2.(0{,}67.38{,}0000.15{,}323 + 0{,}71.1{,}3986.5{,}930 + 1.9{,}8610.3{,}930 + 1.2{,}9800.1{,}700)'}$$

$$w_{\mathrm{II}} = 528 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{\mathrm{III}} = \frac{136944 \cdot 4{,}150}{2.(0{,}67.38{,}0000.15{,}923 + 0{,}71.1{,}3986.6{,}530 + 1.9{,}8610.4{,}530 + 1.2{,}9800.2{,}300)'}$$

$$w_{\mathrm{III}} = 613 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{\mathrm{IV}} = \frac{159205 \cdot 4{,}540}{2.(0{,}67.38{,}0000.16{,}523 + 0{,}71.1{,}3986.7{,}130 + 1.9{,}8610.5{,}130 + 1.2{,}9800.2{,}900)'}$$

$$w_{\mathrm{IV}} = 742 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{\mathrm{V}} = \frac{185454 \cdot 4{,}930}{2.(0{,}67.38{,}0000.17{,}123 + 0{,}71.1{,}3986.7{,}730 + 1.9{,}8610.5{,}730 + 1.2{,}9800.3{,}500)'}$$

$$w_{\mathrm{V}} = 895 \text{ kg auf 1 qm}.$$

Die Beanspruchung des Mauerwerkes durch das eigene Gewicht des Schornsteines ergiebt sich zu:

$$p = \frac{G}{F};$$

$$p_5 = \frac{5832}{0{,}70686} = 8251 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_{10} = \frac{14738}{1{,}06814} = 13798 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_{15} = \frac{27284}{1{,}49225} = 18284 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_{20} = \frac{44509}{2{,}03543} = 21866 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_{24} = \frac{87824}{6{,}40640} = 13709 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_{25} = \frac{101302}{7{,}48800} = 13529 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_{\mathrm{I}} = \frac{112064}{9{,}96450} = 11246 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_{\mathrm{II}} = \frac{123633}{9{,}70080} = 12745 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_{\mathrm{III}} = \frac{136944}{12{,}3255} = 11111 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_{\mathrm{IV}} = \frac{159205}{20{,}6116} = 7724 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_{\mathrm{V}} = \frac{185454}{24{,}3049} = 7630 \text{ kg auf 1 qm}.$$

Das Moment des Winddruckes berechnen wir nach der Formel:

$$M_{\mathrm{W}} = \zeta \cdot w \cdot f \cdot s,$$

indem wir für: $w = 125$ kg auf 1 qm,

für: $\zeta = 0{,}67$, $\zeta = 0{,}71$ und $\zeta = 1{,}00$

setzen, je nachdem der Querschnitt des betreffenden Schornsteintheiles kreisförmig, achteckig oder quadratisch ist.

Demnach erhalten wir:

$M_{\mathrm{W},15} = 125 \cdot 0{,}67 \cdot 7{,}6250 \cdot 2{,}432 = 1553{,}060;$

$M_{\mathrm{W},10} = 125 \cdot 0{,}67 \cdot 16{,}5000 \cdot 4{,}747 = 6559{,}760;$

$M_{\mathrm{W},15} = 125 \cdot 0{,}67 \cdot 26{,}6250 \cdot 6{,}972 = 15546{,}470;$

$M_{\mathrm{W},20} = 125 \cdot 0{,}67 \cdot 38{,}0000 \cdot 9{,}123 = 29023{,}947;$

$M_{\mathrm{W},24} = 125 \cdot (0{,}67 \cdot 38{,}0000 \cdot 13{,}123 + 0{,}71 \cdot 1{,}3986 \cdot 3{,}730 + 1 \cdot 9{,}8610 \cdot 1{,}730),$

$M_{\mathrm{W},24} = 44359{,}375;$

$$M_{W,25} = 125 \cdot (0{,}67 \cdot 38{,}0000 \cdot 14{,}123 + 0{,}71 \cdot 1{,}3986 \cdot 4{,}730 + 1 \cdot 9{,}8610 \cdot 2{,}730 + 1 \cdot 2{,}9800 \cdot 0{,}500),$$

$$M_{W,25} = 49084{,}875;$$

$$M_{W,I} = 125 \cdot (0{,}67 \cdot 38{,}0000 \cdot 14{,}723 + 0{,}71 \cdot 1{,}3986 \cdot 5{,}330 + 1 \cdot 9{,}8610 \cdot 3{,}330 + 1 \cdot 2{,}9800 \cdot 1{,}100),$$

$$M_{W,I} = 52031{,}925;$$

$$M_{W,II} = 125 \cdot (0{,}67 \cdot 38{,}0000 \cdot 15{,}323 + 0{,}71 \cdot 1{,}3986 \cdot 5{,}930 + 1 \cdot 9{,}8610 \cdot 3{,}930 + 1 \cdot 2{,}9800 \cdot 1{,}700),$$

$$M_{W,II} = 54978{,}975;$$

$$M_{W,III} = 125 \cdot (0{,}67 \cdot 38{,}0000 \cdot 15{,}923 + 0{,}71 \cdot 1{,}3986 \cdot 6{,}530 + 1 \cdot 9{,}8610 \cdot 4{,}530 + 1 \cdot 2{,}9800 \cdot 2{,}300),$$

$$M_{W,III} = 57926{,}025;$$

$$M_{W,IV} = 125 \cdot (0{,}67 \cdot 38{,}0000 \cdot 16{,}523 + 0{,}71 \cdot 1{,}3986 \cdot 7{,}130 + 1 \cdot 9{,}8610 \cdot 5{,}130 + 1 \cdot 2{,}9800 \cdot 2{,}900),$$

$$M_{W,IV} = 60873{,}075;$$

$$M_{W,V} = 125 \cdot (0{,}67 \cdot 38{,}0000 \cdot 17{,}123 + 0{,}71 \cdot 1{,}3986 \cdot 7{,}730 + 1 \cdot 9{,}8610 \cdot 5{,}730 + 1 \cdot 2{,}9800 \cdot 3{,}500),$$

$$M_{W,V} = 63820{,}125.$$

Die Resultante aus Winddruck und Schornsteingewicht schneidet den zu untersuchenden Querschnitt in der Entfernung:

$$a = \frac{M_W}{G} \text{ vom Mittelpunkt.}$$

Folglich wird:

$$a_5 = \frac{1553{,}060}{5832} = 0{,}266 \text{ m};$$

$$a_{10} = \frac{6559{,}760}{14738} = 0{,}445 \text{ m};$$

$$a_{15} = \frac{15546{,}470}{27284} = 0{,}570 \text{ m};$$

$$a_{20} = \frac{29023{,}947}{44509} = 0{,}652 \text{ m};$$

$$a_{24} = \frac{44359{,}375}{87824} = 0{,}505 \text{ m};$$

$$a_{25} = \frac{49084{,}875}{101302} = 0{,}485 \text{ m};$$

$$a_I = \frac{52031{,}925}{112064} = 0{,}464 \text{ m};$$

$$a_{II} = \frac{54978{,}975}{123633} = 0{,}445 \text{ m};$$

$$\alpha_{III} = \frac{57926{,}025}{136944} = 0{,}423 \text{ m};$$

$$\alpha_{IV} = \frac{60873{,}075}{159205} = 0{,}382 \text{ m};$$

$$\alpha_{V} = \frac{63820{,}125}{185454} = 0{,}344 \text{ m}.$$

Die Entfernung der Kernlinie vom Mittelpunkt beträgt:

Bei dem Kreisring:

$$P = \frac{D}{8} \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right);$$

bei dem Quadrat mit quadratischem Loch:

$$P = \frac{D}{6} \cdot \left(1 + \left[\frac{d}{D}\right]^2\right);$$

bei dem Quadrat mit durchgehendem Kanal:

$$P_{min} = \frac{D}{6};$$

und bei dem vollen Quadrat:

$$P = \frac{D}{6}.$$

Demnach ergiebt sich:

Für den Querschnitt 0—0:

$$P_0 = \frac{1{,}400}{8} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}100}{1{,}400}\right]^2\right) = 0{,}283 \text{ m};$$

für den Querschnitt 5—5:

$$P_5 = \frac{1{,}650}{8} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}350}{1{,}650}\right]^2\right) = 0{,}344 \text{ m};$$

für den Querschnitt 10—10:

$$P_{10} = \frac{1{,}900}{8} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}500}{1{,}900}\right]^2\right) = 0{,}385 \text{ m};$$

für den Querschnitt 15—15:

$$P_{15} = \frac{2{,}150}{8} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}650}{2{,}150}\right]^2\right) = 0{,}427 \text{ m};$$

für den Querschnitt 20—20:

$$P_{20} = \frac{2{,}400}{8} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}780}{2{,}400}\right]^2\right) = 0{,}465 \text{ m};$$

für den Querschnitt 24—24:

$$P_{24} = \frac{2{,}850}{6} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}310}{2{,}850}\right]^2\right) = 0{,}575 \text{ m};$$

für den Querschnitt 25—25:

$$P_{25} = \frac{2{,}980}{6} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}180}{2{,}980}\right]^2\right) = 0{,}575 \text{ m};$$

für den Querschnitt I—I:

$$P_{\mathrm{I}} = \frac{3{,}370}{6} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}180}{3{,}370}\right]^2\right) = 0{,}630 \text{ m};$$

für den Querschnitt II—II:

$$P_{\mathrm{II,min}} = \frac{3{,}760}{6} = 0{,}627 \text{ m};$$

für den Querschnitt III—III:

$$P_{\mathrm{III,min}} = \frac{4{,}150}{6} = 0{,}692 \text{ m};$$

für den Querschnitt IV—IV:

$$P_{\mathrm{IV}} = \frac{4{,}540}{6} = 0{,}757 \text{ m und}$$

für den Querschnitt V —V:

$$P_{\mathrm{V}} = \frac{4{,}930}{6} = 0{,}822 \text{ m}.$$

Weiter folgt:

$$\frac{\alpha_5}{P_5} = \frac{0{,}266}{0{,}344} = 0{,}77326;$$

$$\frac{\alpha_{10}}{P_{10}} = \frac{0{,}445}{0{,}385} = 1{,}15584;$$

$$\frac{\alpha_{15}}{P_{15}} = \frac{0{,}570}{0{,}427} = 1{,}33489;$$

$$\frac{\alpha_{20}}{P_{20}} = \frac{0{,}652}{0{,}465} = 1{,}40215;$$

$$\frac{\alpha_{24}}{P_{24}} = \frac{0{,}505}{0{,}575} = 0{,}87826;$$

$$\frac{\alpha_{25}}{P_{25}} = \frac{0{,}485}{0{,}575} = 0{,}84348;$$

$$\frac{\alpha_{\mathrm{I}}}{P_{\mathrm{I}}} = \frac{0{,}464}{0{,}630} = 0{,}73651;$$

$$\frac{\alpha_{\mathrm{II}}}{P_{\mathrm{II}}} = \frac{0{,}445}{0{,}627} = 0{,}70973;$$

$$\frac{\alpha_{\mathrm{III}}}{P_{\mathrm{III}}} = \frac{0{,}423}{0{,}692} = 0{,}61127;$$

$$\frac{\alpha_{\mathrm{IV}}}{P_{\mathrm{IV}}} = \frac{0{,}382}{0{,}757} = 0{,}50462;$$

$$\frac{\alpha_{\mathrm{V}}}{P_{\mathrm{V}}} = \frac{0{,}344}{0{,}822} = 0{,}41849.$$

Schliesslich berechnet sich die Beanspruchung des Mauerwerkes nach der Formel:

$$\sigma = p \cdot (1 + \frac{\alpha}{P}), \qquad \sigma = p \cdot (1 - \frac{\alpha}{P})$$

für die vom Wind

nichtgetroffene Seite | getroffene Seite

des Schornsteines,

und wir erhalten:

(Windabwärts)		(Windaufwärts)	
$\sigma_5 = 8251 \cdot 1{,}77326 = 14631$ kg	auf 1 qm.	$\sigma_5 = 8251 \cdot 0{,}22673 = +1871$ kg	auf 1 qm.
$\sigma_{10} = 13798 \cdot 2{,}15584 = 29746$ kg		$\sigma_{10} = 13798 \cdot -0{,}15584 = -2150$ kg	
$\sigma_{15} = 18284 \cdot 2{,}33489 = 42691$ kg		$\sigma_{15} = 18284 \cdot -0{,}33489 = -6123$ kg	
$\sigma_{20} = 21866 \cdot 2{,}40215 = 52525$ kg		$\sigma_{20} = 21866 \cdot -0{,}40215 = -8793$ kg	
$\sigma_{24} = 13709 \cdot 1{,}87826 = 25749$ kg		$\sigma_{24} = 13709 \cdot 0{,}12174 = +1669$ kg	
$\sigma_{25} = 13529 \cdot 1{,}84348 = 24940$ kg		$\sigma_{25} = 13529 \cdot 0{,}15652 = +2118$ kg	
$\sigma_{I} = 11246 \cdot 1{,}73651 = 19529$ kg		$\sigma_{I} = 11246 \cdot 0{,}26349 = +2963$ kg	
$\sigma_{II} = 12745 \cdot 1{,}70973 = 21791$ kg		$\sigma_{II} = 12745 \cdot 0{,}29027 = +3699$ kg	
$\sigma_{III} = 11111 \cdot 1{,}61127 = 17903$ kg		$\sigma_{III} = 11111 \cdot 0{,}38873 = +4319$ kg	
$\sigma_{IV} = 7724 \cdot 1{,}50462 = 11622$ kg		$\sigma_{IV} = 7724 \cdot 0{,}49538 = +3826$ kg	
$\sigma_{V} = 7630 \cdot 1{,}41849 = 10823$ kg		$\sigma_{V} = 7630 \cdot 0{,}58151 = +4437$ kg	

Wie aus der Tabelle ersichtlich, wird das Mauerwerk der Esse zwischen den Höhenlagen 5—5 und 24—24 auf Zug beansprucht; die grösste Zugspannung, welche im Querschnitt 20—20 auftritt, beträgt:

8793 kg auf 1 qm, oder 0,8793 kg auf 1 qcm,

und ist belanglos. Die grösste Inanspruchnahme auf Druck erleidet gleichfalls der Querschnitt 20—20 mit:

52525 kg auf 1 qm, oder 5,2525 kg auf 1 qcm.

Ein Winddruck von:

$w = 231$ kg auf 1 qm

wird den Schornstein im Querschnitt 20—20 abbrechen.

Unsere bisherigen Untersuchungen stützen sich auf die Annahme, dass die Windrichtung senkrecht zu einer Seite des Schornsteinquerschnittes steht. Fällt dagegen die Windrichtung mit einer Diagonale des Schornsteinquerschnittes zusammen, so ändern sich vom Querschnitt 20—20 an abwärts die Verhältnisse in Bezug auf die Beanspruchung des Mauerwerkes, und wollen wir diesen Fall jetzt näher beleuchten.

Die für die vorhergehende Untersuchung entworfene Tabelle erleidet nur, wie leicht zu übersehen, in den Spalten 8), 12), 13), 14), 15) und 16) Veränderungen, so dass wir bei Aufstellung der Tabelle für die Verhältnisse bei übereckwehendem Winde auch nur diese Spalten zu berücksichtigen haben.

1	8	12	13	14	15	16		17
Höhenlage	Vom Wind getroffene Fläche über der betreffenden Höhenlage	Moment des Winddruckes ($w = 125$ kg auf 1 qm)	Entfernung des Schnittpunktes der Resultante vom Mittelpunkt	Entfernung der Kernlinie vom Mittelpunkt		Beanspruchung des Mauerwerkes		Höhenlage
						windabwärts	windaufwärts	
H	f	M'_W	$a' = M'_W : G$	ϱ	$\frac{a'}{\varrho}$	$\sigma' = p \cdot \left(1 + \frac{a'}{\varrho}\right)$	$\sigma' = p \cdot \left(1 - \frac{a'}{\varrho}\right)$	H
m	qm	—	m	m	—	kg/qm	kg/qm	m
24	38,0000 1,5133 13,9454	43730,397	0,498	0,407	1,22359	30483	— 3065	24
25	38,0000 1,5133 13,9454 4,2143	48039,135	0,474	0,407	1,16462	29285	— 2227	25
I	desgl.	50703,397	0,452	0,445	1,01573	22669	— 177	I
II	desgl.	53367,660	0,432	0,534	0,80899	23056	+ 2434	II
III	desgl.	56031,922	0,409	0,578	0,70761	18973	+ 3249	III
IV	desgl.	58696,185	0,369	0,535	0,68972	13051	+ 2397	IV
V	desgl.	61360,447	0,331	0,581	0,56971	11977	+ 3283	V

Die Werthe der Spalte 8) berechnen sich leicht an der Hand der Zeichnung.

Zur Berechnung des Momentes des Winddruckes dient die allgemeine Formel:

$$M'_W = w \cdot \Sigma \zeta' \cdot f \cdot s,$$

und zwar beträgt:

$\zeta' = 0{,}67$ für den kreisförmigen Querschnitt,
$\zeta' = 0{,}65$ für den achteckigen Querschnitt und
$\zeta' = 0{,}50$ für den quadratischen Querschnitt.

Sonach wird:

$$M'_{W_{24}} = 125 \,.\, (0{,}67 \,.\, 38{,}0000 \,.\, 13{,}123 + 0{,}65 \,.\, 1{,}5133 \,.\, 3{,}730 + 0{,}50 \,.\, 13{,}9454 \,.\, 1{,}730)$$
$$M'_{W_{24}} = 43730{,}397;$$

$$M'_{w,25} = 125 \cdot (0{,}67 \cdot 38{,}0000 \cdot 14{,}123 + 0{,}65 \cdot 1{,}5133 \cdot 4{,}730 + 0{,}50 \cdot 13{,}9454 \cdot 2{,}730 + 0{,}50 \cdot 4{,}2143 \cdot 0{,}500),$$

$$M'_{w,25} = 48039{,}135;$$

$$M'_{w,I} = 125 \cdot (0{,}67 \cdot 38{,}0000 \cdot 14{,}723 + 0{,}65 \cdot 1{,}5133 \cdot 5{,}330 + 0{,}50 \cdot 13{,}9454 \cdot 3{,}330 + 0{,}50 \cdot 4{,}2143 \cdot 1{,}100),$$

$$M'_{w,I} = 50703{,}397;$$

$$M'_{w,II} = 125 \cdot (0{,}67 \cdot 38{,}0000 \cdot 15{,}323 + 0{,}65 \cdot 1{,}5132 \cdot 5{,}930 + 0{,}50 \cdot 13{,}9454 \cdot 3{,}930 + 0{,}50 \cdot 4{,}2143 \cdot 1{,}700),$$

$$M'_{w,II} = 53367{,}660;$$

$$M'_{w,III} = 125 \cdot (0{,}67 \cdot 38{,}0000 \cdot 15{,}923 + 0{,}65 \cdot 1{,}5133 \cdot 6{,}530 + 0{,}50 \cdot 13{,}9454 \cdot 4{,}530 + 0{,}50 \cdot 4{,}2143 \cdot 2{,}300),$$

$$M'_{w,III} = 56031{,}922;$$

$$M'_{w,IV} = 125 \cdot (0{,}67 \cdot 38{,}0000 \cdot 16{,}523 + 0{,}65 \cdot 1{,}5133 \cdot 7{,}130 + 0{,}50 \cdot 13{,}9454 \cdot 5{,}130 + 0{,}50 \cdot 4{,}2143 \cdot 2{,}900),$$

$$M'_{w,IV} = 58696{,}185;$$

$$M'_{w,V} = 125 \cdot (0{,}67 \cdot 38{,}0000 \cdot 17{,}123 + 0{,}65 \cdot 1{,}5133 \cdot 7{,}730 + 0{,}50 \cdot 13{,}9454 \cdot 5{,}730 + 0{,}50 \cdot 4{,}2143 \cdot 3{,}500),$$

$$M'_{w,V} = 61360{,}447.$$

Die Resultante aus Winddruck und Schornsteingewicht schneidet den zu untersuchenden Querschnitt in der Entfernung:

$$\alpha' = \frac{M'_w}{G} \text{ vom Mittelpunkt;}$$

folglich erhalten wir:

$$\alpha'_{24} = \frac{43730{,}397}{87824} = 0{,}498 \text{ m},$$

$$\alpha'_{25} = \frac{48039{,}135}{101302} = 0{,}474 \text{ m},$$

$$\alpha'_{I} = \frac{50703{,}397}{112064} = 0{,}452 \text{ m},$$

$$\alpha'_{II} = \frac{53367{,}660}{123633} = 0{,}432 \text{ m},$$

$$\alpha'_{III} = \frac{56031{,}922}{136944} = 0{,}409 \text{ m},$$

$$\alpha'_{IV} = \frac{58696{,}185}{159205} = 0{,}369 \text{ m},$$

$$\alpha'_{V} = \frac{61360{,}447}{185454} = 0{,}331 \text{ m}.$$

Für die Querschnitte: 24—24, 25—25, I—I, IV—IV und V—V wird:

$$\varrho = 0{,}70711 \cdot P,$$

oder:

$$\varrho_{24} = 0{,}70711 \cdot 0{,}575 = 0{,}407 \text{ m};$$
$$\varrho_{25} = 0{,}70711 \cdot 0{,}575 = 0{,}407 \text{ m};$$
$$\varrho_{I} = 0{,}70711 \cdot 0{,}630 = 0{,}445 \text{ m};$$
$$\varrho_{IV} = 0{,}70711 \cdot 0{,}757 = 0{,}535 \text{ m};$$
$$\varrho_{V} = 0{,}70711 \cdot 0{,}822 = 0{,}581 \text{ m}.$$

Für die Querschnitte II—II und III—III gilt allgemein die Formel:

$$\varrho = \frac{1}{16{,}97 \cdot D} \cdot (2 \cdot D^2 + D \cdot d + d^2),$$

woraus folgt:

$$\varrho_{II} = \frac{1}{16{,}97 \cdot 3{,}760} \cdot (2 \cdot 3{,}760^2 + 3{,}760 \cdot 1{,}180 + 1{,}180^2)$$
$$\varrho_{II} = 0{,}534 \text{ m};$$
$$\varrho_{III} = \frac{1}{16{,}97 \cdot 4{,}150} \cdot (2 \cdot 4{,}150^2 + 4{,}150 \cdot 1{,}180 + 1{,}180^2)$$
$$\varrho_{III} = 0{,}578 \text{ m}.$$

Weiter beträgt:

$$\frac{\alpha'_{24}}{\varrho_{24}} = \frac{0{,}498}{0{,}407} = 1{,}22359;$$
$$\frac{\alpha'_{25}}{\varrho_{25}} = \frac{0{,}474}{0{,}407} = 1{,}16462;$$
$$\frac{\alpha'_{I}}{\varrho_{I}} = \frac{0{,}452}{0{,}445} = 1{,}01573;$$
$$\frac{\alpha'_{II}}{\varrho_{II}} = \frac{0{,}432}{0{,}534} = 0{,}80899;$$
$$\frac{\alpha'_{III}}{\varrho_{III}} = \frac{0{,}409}{0{,}578} = 0{,}70761;$$
$$\frac{\alpha'_{IV}}{\varrho_{IV}} = \frac{0{,}369}{0{,}535} = 0{,}68972;$$
$$\frac{\alpha'_{V}}{\varrho_{V}} = \frac{0{,}331}{0{,}581} = 0{,}56971.$$

Endlich findet sich die Beanspruchung des Mauerwerkes auf der vom Wind nichtgetroffenen Seite, | getroffenen Seite des Schornsteines wie folgt:

(Windabwärts)	auf 1 qm.	(Windaufwärts)	auf 1 qm.
$\sigma'_{24} = 13709.2{,}22359 = 30483$ kg		$\sigma'_{24} = 13709.-0{,}22359 = -3065$ kg	
$\sigma'_{25} = 13529.2{,}16462 = 29285$ kg		$\sigma'_{25} = 13529.-0{,}16462 = -2227$ kg	
$\sigma'_{I} = 11246.2{,}01573 = 22669$ kg		$\sigma'_{I} = 11246.-0{,}01573 = -177$ kg	
$\sigma'_{II} = 12745.1{,}80899 = 23056$ kg		$\sigma'_{II} = 12745.0{,}19101 = +2434$ kg	
$\sigma'_{III} = 11111.1{,}70761 = 18973$ kg		$\sigma'_{III} = 11111.0{,}29239 = +3249$ kg	
$\sigma'_{IV} = 7724.1{,}68972 = 13051$ kg		$\sigma'_{IV} = 7724.0{,}31028 = +2397$ kg	
$\sigma'_{V} = 7630.1{,}56971 = 11977$ kg		$\sigma'_{V} = 7630.0{,}43029 = +3283$ kg	

Ein Vergleich beider Tabellen lehrt, dass der Querschnitt 20—20 auch bei übereckwehendem Winde bezüglich der Beanspruchung des Mauerwerkes ein gefährlicher Querschnitt bleibt.

Zugspannungen treten noch in den beiden obersten Absätzen des Fundamentes auf, ohne jedoch gefährliche Dimensionen anzunehmen. Die Belastung des Baugrundes, welche um rund 11 % wächst, bleibt innerhalb der zulässigen Grenzen.

Auch in diesem Beispiel kann, bei günstigem Baugrund, der letzte Fundament-Absatz gespart werden.

---

4. Beispiel.

(Hierzu Blatt XIV, Figur 2, und Blatt XV.)

Auf Blatt XIV, Figur 2, ist die Zeichnung eines runden Schornsteines gegeben. Es fragt sich, ob derselbe um 5 m erhöht werden kann, ohne dass die Standfestigkeit unter die zulässige Grenze sinkt, oder die Beanspruchung des Mauerwerkes über das erlaubte Mass hinausgeht.

Der Schornstein ist aus gelben Thonsteinen erbaut; das specifische Gewicht des Mauerwerkes beträgt: $\gamma = 2000$ kg pro 1 cbm; als Coefficient des Winddruckes ist für den kreisförmigen Querschnitt: $\zeta = \frac{2}{3}$; für den quadratischen Querschnitt: $\zeta = 1$ anzunehmen. Der grösste, bei der Beanspruchung des Mauerwerkes in Rechnung zu setzende Winddruck betrage: $w = 125$ kg auf 1 qm.

Zunächst gilt es, den vorliegenden Schornstein auf die Standfestigkeit und auf die Beanspruchung seines Mauerwerkes hin zu untersuchen, und verfahren wir diesbezüglich genau so, wie in den vorhergehenden Beispielen, das heisst, wir füllen auch für diese Esse das bisher benutzte Tabellen-Schema aus.

(Siehe Tabelle auf Seite 109.)

Zur Berechnung der Werthe in Spalte 1)—8) ist nichts zu bemerken, in Spalte 9) wird:

$$s_6 = \frac{2{,}040 + 2 \cdot 1{,}800}{2{,}040 + 1{,}800} \cdot \frac{6}{3} = 2{,}938 \text{ m};$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		17
H	d	D	δ	F	V	G	f	s	w	$p = G:F$	M_W	$\alpha = M_W:G$	P	$\frac{\alpha}{P}$	$\sigma - : p.\left(1+\frac{\alpha}{P}\right)$	$\sigma - : p.\left(1-\frac{\alpha}{P}\right)$	H
m	m	m	m	qm	cbm	kg	qm	m	kg/qm	kg/qm	—	m	m	—	kg/qm	kg/qm	m
0	1,300	1,800	0,250	1,21737	0,00000	0	0,0000	0,000	∞	0	0,000	0,000	0,342	0,00000	0	0	0
6	1,540 / 1,420	2,040	0,250 / 0,310	1,40586 / 1,68483	7,86969	15739	11,5200	2,938	711	11195	2820,475	0,179	0,400	0,44750	16205	6185	6
12	1,660 / 1,560	2,280	0,310 / 0,360	1,91857 / 2,17147	18,67989	37360	24,4800	5,765	453	19473	11760,600	0,315	0,436	0,72248	33542	5404	12
18	1,800 / 1,700	2,520	0,360 / 0,410	2,44290 / 2,71779	32,52300	65046	38,8800	8,500	372	26626	27540,000	0,423	0,476	0,88866	50287	2964	18
24	1,940 / 1,760	2,760 / 2,900	0,410 / 0,570	3,02693 / 4,17235	49,75716	99514	54,7200	11,158	337	32876	50880,500	0,511	0,516	0,99031	65433	319	24
27	2,060 / 1,960	3,200	0,570 / 0,620	4,70956 / 5,02529	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27
28,6	2,120 / 2,100	(3,360) 3,500 / 3,700	(0,620) 0,690 / 0,800	(5,33694) 6,09124 / 10,22639	—	—	69,1180	12,943	—	—	—	—	—	—	—	—	28,6
30	1,800 / 1,200	3,700 / 4,020	0,950 / 1,410	11,14531 / 14,72040	86,33000	172660	69,1180 / 5,1800	14,343 / 0,700	481	15492	83066,625	0,481	0,732	0,65710	25672	5312	30
I	1,200	4,020 / 4,410	1,410 / 1,605	14,72040 / 18,60810	95,16224	190324	desgl.	14,943 / 1,300	550	12929	86911,000	0,457	0,730	0,62603	21023	4835	I
II	1,200	4,410 / 4,800	1,605 / 1,800	14,15610 / 17,28000	104,33731	208675	desgl.	15,543 / 1,900	634	14741	90755,375	0,435	0,735	0,59184	23465	6017	II
III	1,200	4,800 / 5,190	1,800 / 1,995	17,28000 / 20,70810	114,70531	229411	desgl.	16,143 / 2,500	727	13276	94599,750	0,412	0,800	0,51500	20113	6439	III
IV	1,200 / 0	5,190 / 5,580	1,995 / 5,580	20,70810 / 31,13640	127,13017	254260	desgl.	16,743 / 3,100	837	12278	98444,250	0,387	0,865	0,44740	17771	6785	IV
V	0	5,580	5,580	31,13640	145,81201	291624	desgl.	17,343 / 3,700	994	9366	102288,625	0,351	0,930	0,37742	12901	5831	V

$$s_{12} = \frac{2{,}280 + 2 \cdot 1{,}800}{2{,}280 + 1{,}800} \cdot \frac{12}{3} = 5{,}765 \text{ m};$$

$$s_{18} = \frac{2{,}520 + 2 \cdot 1{,}800}{2{,}520 + 1{,}800} \cdot \frac{18}{3} = 8{,}500 \text{ m};$$

$$s_{24} = \frac{2{,}760 + 2 \cdot 1{,}800}{2{,}760 + 1{,}800} \cdot \frac{24}{3} = 11{,}158 \text{ m};$$

$$s_{28{,}6} = \frac{1}{69{,}1180} \cdot (54{,}7200 \cdot 15{,}758 + 14{,}398 \cdot \frac{3{,}360 + 2 \cdot 2{,}900}{3{,}360 + 2{,}900} \cdot \frac{4{,}6}{3}),$$

$$s_{28{,}6} = 12{,}943 \text{ m};$$

$$s'_{30} = 12{,}943 + 1{,}400 = 14{,}343 \text{ m};$$

$$s''_{30} = 0{,}700 \text{ m};$$

$$s'_{\mathrm{I}} = 14{,}343 + 0{,}600 = 14{,}943;$$

$$s''_{\mathrm{I}} = 0{,}700 + 0{,}600 = 1{,}300;$$

$$s'_{\mathrm{II}} = 14{,}943 + 0{,}600 = 15{,}543 \text{ m};$$

$$s''_{\mathrm{II}} = 1{,}300 + 0{,}600 = 1{,}900;$$

$$s'_{\mathrm{III}} = 15{,}543 + 0{,}600 = 16{,}143 \text{ m};$$

$$s'_{\mathrm{III}} = 1{,}900 + 0{,}600 = 2{,}500 \text{ m};$$

$$s'_{\mathrm{IV}} = 16{,}143 + 0{,}600 = 16{,}743;$$

$$s''_{\mathrm{IV}} = 2{,}500 + 0{,}600 = 3{,}100;$$

$$s'_{\mathrm{V}} = 16{,}743 + 0{,}600 = 17{,}343;$$

$$s''_{\mathrm{V}} = 3{,}100 + 0{,}600 = 3{,}700.$$

In Spalte 10) wird:

$$w_6 = \frac{15739 \cdot \frac{2{,}040}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 11{,}5200 \cdot 2{,}938} = \frac{16053{,}78}{22{,}5638} = 711 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{12} = \frac{37360 \cdot \frac{2{,}280}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 24{,}4800 \cdot 5{,}765} = \frac{42590{,}40}{94{,}0848} = 453 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{18} = \frac{65046 \cdot \frac{2{,}520}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 38{,}8800 \cdot 8{,}500} = \frac{81957{,}96}{220{,}320} = 372 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{24} = \frac{99514 \cdot \frac{2{,}760}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 54{,}7200 \cdot 11{,}158} = \frac{137329{,}32}{407{,}044} = 337 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{30} = \frac{172660 \cdot \frac{3{,}700}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 69{,}1180 \cdot 14{,}343 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 0{,}700} = \frac{319421{,}00}{664{,}533} = 481 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$w_{\text{I}} = \frac{190324 \cdot \frac{4{,}020}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 69{,}1180 \cdot 14{,}943 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 1{,}300} = \frac{382551{,}24}{695{,}288} = 550 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$w_{\text{II}} = \frac{208675 \cdot \frac{4{,}410}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 69{,}1180 \cdot 15{,}543 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 1{,}900} = \frac{460128{,}38}{726{,}043} = 634 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$w_{\text{III}} = \frac{229411 \cdot \frac{4{,}800}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 69{,}1180 \cdot 16{,}143 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 2{,}500} = \frac{550586{,}40}{756{,}798} = 727 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$w_{\text{IV}} = \frac{254260 \cdot \frac{5{,}190}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 69{,}1180 \cdot 16{,}743 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 3{,}100} = \frac{659804{,}70}{787{,}554} = 837 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$w_{\text{V}} = \frac{291624 \cdot \frac{5{,}580}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 69{,}1180 \cdot 17{,}343 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 3{,}700} = \frac{813630{,}96}{818{,}309} = 994 \text{ kg auf 1 qm.}$$

In Spalte 11) wird:

$$p_6 = \frac{15739}{1{,}40586} = 11195 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{12} = \frac{37360}{1{,}91857} = 19473 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{18} = \frac{65046}{2{,}44290} = 26626 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{24} = \frac{99514}{3{,}02693} = 32876 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{30} = \frac{172660}{11{,}1453} = 15492 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{\text{I}} = \frac{190324}{14{,}7204} = 12929 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{\text{II}} = \frac{208675}{14{,}1561} = 14741 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{\text{III}} = \frac{229411}{17{,}2800} = 13276 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{IV} = \frac{254260}{20{,}7081} = 12278 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_V = \frac{291624}{31{,}1364} = 9366 \text{ kg auf 1 qm.}$$

In Spalte 12) wird:

$$M_{W,6} = 125 \cdot \frac{2}{3} \cdot 11{,}5200 \cdot 2{,}938 = 2820{,}475;$$

$$M_{W,12} = 125 \cdot \frac{2}{3} \cdot 24{,}4800 \cdot 5{,}765 = 11760{,}600;$$

$$M_{W,18} = 125 \cdot \frac{2}{3} \cdot 38{,}8800 \cdot 8{,}500 = 27540{,}000;$$

$$M_{W,24} = 125 \cdot \frac{2}{3} \cdot 54{,}7200 \cdot 11{,}158 = 50880{,}500;$$

$$M_{W,30} = 125 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 69{,}1180 \cdot 14{,}343 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 0{,}700) = 83066{,}625;$$

$$M_{W,I} = 125 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 69{,}1180 \cdot 14{,}943 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 1{,}300) = 86911{,}000;$$

$$M_{W,II} = 125 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 69{,}1180 \cdot 15{,}543 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 1{,}900) = 90755{,}375;$$

$$M_{W,III} = 125 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 69{,}1180 \cdot 16{,}143 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 2{,}500) = 94599{,}750;$$

$$M_{W,IV} = 125 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 69{,}1180 \cdot 16{,}743 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 3{,}100) = 98444{,}250;$$

$$M_{W,V} = 125 \cdot (\frac{2}{3} \cdot 69{,}1180 \cdot 17{,}343 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 3{,}700) = 102288{,}625.$$

In Spalte 13) wird:

$$\alpha_6 = \frac{2820{,}475}{15739} = 0{,}179 \text{ m;}$$

$$\alpha_{12} = \frac{11760{,}600}{37360} = 0{,}315 \text{ m;}$$

$$\alpha_{18} = \frac{27540{,}000}{65046} = 0{,}423 \text{ m;}$$

$$\alpha_{24} = \frac{50880{,}500}{99514} = 0{,}511 \text{ m;}$$

$$\alpha_{30} = \frac{83066{,}625}{172660} = 0{,}481 \text{ m;}$$

$$\alpha_I = \frac{86911{,}000}{190324} = 0{,}457 \text{ m;}$$

$$\alpha_{II} = \frac{90755{,}375}{208675} = 0{,}435 \text{ m;}$$

$$\alpha_{III} = \frac{94599{,}750}{229411} = 0{,}412 \text{ m};$$

$$\alpha_{IV} = \frac{98444{,}250}{254260} = 0{,}387 \text{ m};$$

$$\alpha_{V} = \frac{102288{,}625}{291624} = 0{,}351 \text{ m}.$$

In Spalte 14) wird:

$$P_0 = \frac{1{,}800}{8} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}300}{1{,}800}\right]^2\right) = 0{,}342 \text{ m};$$

$$P_6 = \frac{2{,}040}{8} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}540}{2{,}040}\right]^2\right) = 0{,}400 \text{ m};$$

$$P_{12} = \frac{2{,}280}{8} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}660}{2{,}280}\right]^2\right) = 0{,}436 \text{ m};$$

$$P_{18} = \frac{2{,}520}{8} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}800}{2{,}520}\right]^2\right) = 0{,}476 \text{ m};$$

$$P_{24} = \frac{2{,}760}{8} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}940}{2{,}760}\right]^2\right) = 0{,}516 \text{ m};$$

$$P_{30} = \frac{2}{3{,}700} \cdot \frac{0{,}0833 \cdot 3{,}700^4 - 0{,}0491 \cdot 1{,}800^4}{3{,}700^2 - 0{,}7854 \cdot 1{,}800^2} = 0{,}732 \text{ m};$$

$$P_I = \frac{4{,}020}{6} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}200}{4{,}020}\right]^2\right) = 0{,}730 \text{ m};$$

$$P_{II,\,min} = \frac{4{,}410}{6} = 0{,}735 \text{ m};$$

$$P_{III,\,min} = \frac{4{,}800}{6} = 0{,}800 \text{ m};$$

$$P_{IV,\,min} = \frac{5{,}190}{6} = 0{,}865 \text{ m};$$

$$P_V = \frac{5{,}580}{6} = 0{,}930 \text{ m}.$$

In Spalte 15) wird:

$$\frac{\alpha_6}{P_6} = \frac{0{,}179}{0{,}400} = 0{,}44750;$$

$$\frac{\alpha_{12}}{P_{12}} = \frac{0{,}315}{0{,}436} = 0{,}72248;$$

$$\frac{\alpha_{18}}{P_{18}} = \frac{0{,}423}{0{,}476} = 0{,}88866;$$

$$\frac{\alpha_{24}}{P_{24}} = \frac{0{,}511}{0{,}516} = 0{,}99031;$$

$$\frac{\alpha_{30}}{P_{30}} = \frac{0{,}481}{0{,}732} = 0{,}65710;$$

$$\frac{\alpha_I}{P_I} = \frac{0{,}457}{0{,}730} = 0{,}62603;$$

$$\frac{\alpha_{II}}{P_{II,min}} = \frac{0{,}435}{0{,}735} = 0{,}59184;$$

$$\frac{\alpha_{III}}{P_{III,min}} = \frac{0{,}412}{0{,}800} = 0{,}51500;$$

$$\frac{\alpha_{IV}}{P_{IV,min}} = \frac{0{,}387}{0{,}865} = 0{,}44740;$$

$$\frac{\alpha_V}{P_V} = \frac{0{,}351}{0{,}930} = 0{,}37742.$$

In Spalte 16) wird:

Windabwärts:		Windaufwärts:	
$\sigma_6 = 11195 \cdot 1{,}44750 = 16205$ kg	auf 1 qm.	$\sigma_6 = 11195 \cdot 0{,}55250 = 6185$ kg	auf 1 qm.
$\sigma_{12} = 19473 \cdot 1{,}72248 = 33542$ kg		$\sigma_{12} = 19473 \cdot 0{,}27752 = 5404$ kg	
$\sigma_{18} = 26626 \cdot 1{,}88866 = 50287$ kg		$\sigma_{18} = 26626 \cdot 0{,}11134 = 2964$ kg	
$\sigma_{24} = 32876 \cdot 1{,}99031 = 65433$ kg		$\sigma_{24} = 32876 \cdot 0{,}00969 = 319$ kg	
$\sigma_{30} = 15492 \cdot 1{,}65710 = 25672$ kg		$\sigma_{30} = 15492 \cdot 0{,}34290 = 5312$ kg	
$\sigma_I = 12929 \cdot 1{,}62603 = 21023$ kg		$\sigma_I = 12929 \cdot 0{,}37397 = 4835$ kg	
$\sigma_{II} = 14741 \cdot 1{,}59184 = 23465$ kg		$\sigma_{II} = 14741 \cdot 0{,}40816 = 6017$ kg	
$\sigma_{III} = 13276 \cdot 1{,}51500 = 20113$ kg		$\sigma_{III} = 13276 \cdot 0{,}48500 = 6439$ kg	
$\sigma_{IV} = 12278 \cdot 1{,}44740 = 17771$ kg		$\sigma_{IV} = 12278 \cdot 0{,}55260 = 6785$ kg	
$\sigma_V = 9366 \cdot 1{,}37742 = 12901$ kg		$\sigma_V = 9366 \cdot 0{,}62258 = 5831$ kg	

Die Rechnung lehrt, dass die Standfestigkeit des Schornsteines eine mehr als genügende ist, und dass das Mauerwerk im Schaft, Sockel und Fundament nur auf Druck mässig beansprucht wird; desgleichen ist die Belastung des Baugrundes, welcher aus gewachsenem Gneisfelsen besteht, eine geringe, sodass eine Erhöhung des Schornsteines um 5 m als möglich erscheint.

Wir fügen unserer Esse nunmehr 2 Absätze von je 2,500 m Höhe und 20 cm beziehungsweise 15 cm Wandstärke hinzu und erhalten so, bei gleichbleibender lichter Weite, einen Schornstein von 35 m Höhe. Auch für diesen ist die tabellarische Uebersicht aufzustellen, doch wollen wir hierbei, um den Vergleich mit der vorstehenden Tabelle zu erleichtern, die Essenmündung mit: „— 5“ und den um 5 m tiefer liegenden Querschnitt mit: „0“ bezeichnen, sodass ein und derselbe Querschnitt in beiden Tabellen gleich benannt ist.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		17
H	d	D	δ	F	V	G	f	s	w	$p = G:F$	M_W	$\frac{\sigma}{M_W}:G$	P	$\alpha:P$	$p.\left(1+\frac{\alpha}{P}\right)$	$p.\left(1-\frac{\alpha}{P}\right)$	H
m	m	m	m	qm	cbm	kg	qm	m	kg/qm	kg/qm	—	m	m	—	kg/qm	kg/qm	m
— 5	1,300	1,600	0,150	0,68330	0,00000	0	0,0000	0,000	∞	0	0,000	0,000	0,332	0,000000	0	0	— 5
— 2,5	1,400 / 1,300	1,700	0,150 / 0,200	0,73042 / 0,94248	1,76715	3534	4,1250	1,237	883	4838	425,219	0,120	0,357	0,336134	6464	+ 3212	— 2,5
0	1,400 / 1,300	1,800	0,200 / 0,250	1,00531 / 1,21737	4,20189	8404	8,5000	2,451	545	8360	1736,125	0,207	0,361	0,573407	13154	+ 3566	0
6	1,540 / 1,420	2,040	0,250 / 0,310	1,40586 / 1,68483	12,07158	24143	20,0200	5,278	350	17173	8805,463	0,365	0,400	0,912500	32843	+ 1503	6
12	1,660 / 1,560	2,280	0,310 / 0,360	1,91857 / 2,17147	22,88178	45764	32,9800	8,003	296	23853	21994,875	0,481	0,436	1,103211	50168	— 2462	12
18	1,800 / 1,700	2,520	0,360 / 0,410	2,44290 / 2,71779	36,72489	73450	47,3800	10,641	275	30067	42026,000	0,572	0,476	1,201680	66198	— 6064	18
24	1,940 / 1,760	2,760 / 2,900	0,410 / 0,570	3,02693 / 4,17235	53,95905	107918	63,2200	13,214	267	35671	69615,750	0,645	0,516	1,250000	80260	— 8918	24
27	2,060 / 1,960	3,200	0,570 / 0,620	4,70956 / 5,02529	67,28192	134564	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27
28,6	(3,360) / 2,120 / 2,100	(0,620) / 3,500 / 3,700	(5,33694) / 0,690 / 0,800	6,09124 / 10,22639	75,57170	151143	77,6180	14,926	—	—	—	—	—	—	—	—	28,6
30	1,800 / 1,200	3,700 / 4,020	0,950 / 1,410	11,14531 / 14,72040	90,53189	181064	77,6180 / 5,1800	16,326 / 0,700	394	16246	106052,500	0,589	0,732	0,804644	29318	+ 3774	30
I	1,200	4,020 / 4,410	1,410 / 1,605	14,72040 / 18,00810	99,36413	198728	desgl.	16,926 / 1,300	452	13500	110321,875	0,555	0,730	0,760273	23764	+ 3236	I
II	1,200	4,410 / 4,800	1,605 / 1,800	14,15610 / 17,28000	108,53920	217078	desgl.	17,526 / 1,900	522	15335	114591,375	0,528	0,735	0,718367	26351	+ 4319	II
III	1,200	4,800 / 5,190	1,800 / 1,995	17,28000 / 20,70810	118,90720	237814	desgl.	18,126 / 2,500	602	13762	118860,750	0,500	0,800	0,625000	22363	+ 5161	III
IV	1,200 / 0	5,190 / 5,580	1,995 / 5,580	20,70810 / 31,13640	131,33206	262664	desgl.	18,726 / 3,100	691	12684	123130,125	0,469	0,865	0,542196	19561	+ 5807	IV
V	0	5,580	5,580	31,13640	150,01390	300028	desgl.	19,326 / 3,700	821	9636	127400,000	0,425	0,930	0,456989	14040	+ 5232	V

Es wird:

In Spalte 9)

$$s_{-2,5} = \frac{1{,}700 + 2 \cdot 1{,}600}{1{,}700 + 1{,}600} \cdot \frac{2{,}5}{3} = 1{,}237 \text{ m};$$

$$s_0 = \frac{1{,}800 + 2 \cdot 1{,}600}{1{,}800 + 1{,}600} \cdot \frac{5}{3} = 2{,}451 \text{ m};$$

$$s_6 = \frac{2{,}040 + 2 \cdot 1{,}600}{2{,}040 + 1{,}600} \cdot \frac{11}{3} = 5{,}278 \text{ m};$$

$$s_{12} = \frac{2{,}280 + 2 \cdot 1{,}600}{2{,}280 + 1{,}600} \cdot \frac{17}{3} = 8{,}003 \text{ m};$$

$$s_{18} = \frac{2{,}520 + 2 \cdot 1{,}600}{2{,}520 + 1{,}600} \cdot \frac{23}{3} = 10{,}644 \text{ m};$$

$$s_{24} = \frac{2{,}760 + 2 \cdot 1{,}600}{2{,}760 + 1{,}600} \cdot \frac{29}{3} = 13{,}214 \text{ m};$$

$$s_{28,6} = \frac{1}{77{,}6180} \cdot \left(63{,}2200 \cdot 17{,}814 + 14{,}398 \cdot \frac{3{,}360 + 2 \cdot 2{,}900}{3{,}360 + 2{,}900} \cdot \frac{4{,}6}{3}\right),$$

$$s_{28,6} = 14{,}926 \text{ m};$$

$$s'_{30} = 14{,}926 + 1{,}400 = 16{,}326 \text{ m};$$

$$s''_{30} = 0{,}700 \text{ m};$$

$$s'_{\mathrm{I}} = 16{,}326 + 0{,}600 = 16{,}926 \text{ m};$$

$$s''_{\mathrm{I}} = 0{,}700 + 0{,}600 = 1{,}300 \text{ m};$$

$$s'_{\mathrm{II}} = 16{,}926 + 0{,}600 = 17{,}526;$$

$$s''_{\mathrm{II}} = 1{,}300 + 0{,}600 = 1{,}900 \text{ m};$$

$$s'_{\mathrm{III}} = 17{,}526 + 0{,}600 = 18{,}126 \text{ m};$$

$$s''_{\mathrm{III}} = 1{,}900 + 0{,}600 = 2{,}500 \text{ m};$$

$$s'_{\mathrm{IV}} = 18{,}126 + 0{,}600 = 18{,}726 \text{ m};$$

$$s''_{\mathrm{IV}} = 2{,}500 + 0{,}600 = 3{,}100 \text{ m};$$

$$s'_{\mathrm{V}} = 18{,}726 + 0{,}600 = 19{,}326 \text{ m};$$

$$s''_{\mathrm{V}} = 3{,}100 + 0{,}600 = 3{,}700 \text{ m}.$$

In Spalte 10):

$$w_{-2,5} = \frac{3534 \cdot \frac{1{,}700}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 4{,}1250 \cdot 1{,}237} = \frac{3003{,}90}{3{,}40175} = 883 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_0 = \frac{8404 \cdot \frac{1{,}800}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 8{,}5000 \cdot 2{,}451} = \frac{7563{,}60}{13{,}8890} = 545 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_6 = \frac{24143 \cdot \frac{2{,}040}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 20{,}0200 \cdot 5{,}278} = \frac{24625{,}86}{70{,}4437} = 350 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{12} = \frac{45764 \cdot \frac{2{,}280}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 32{,}9800 \cdot 8{,}003} = \frac{52170{,}96}{175{,}959} = 296 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{18} = \frac{73450 \cdot \frac{2{,}520}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 47{,}3800 \cdot 10{,}644} = \frac{92547{,}00}{336{,}208} = 275 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{24} = \frac{107918 \cdot \frac{2{,}760}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 63{,}2200 \cdot 13{,}214} = \frac{148926{,}84}{556{,}926} = 267 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{30} = \frac{181064 \cdot \frac{3{,}700}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 77{,}6180 \cdot 16{,}326 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 0{,}700} = \frac{334968{,}40}{848{,}420} = 394 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{I} = \frac{198728 \cdot \frac{4{,}020}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 77{,}6180 \cdot 16{,}926 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 1{,}300} = \frac{399443{,}28}{882{,}575} = 452 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{II} = \frac{217078 \cdot \frac{4{,}410}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 77{,}6180 \cdot 17{,}526 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 1{,}900} = \frac{478656{,}99}{916{,}731} = 522 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{III} = \frac{237814 \cdot \frac{4{,}800}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 77{,}6180 \cdot 18{,}126 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 2{,}500} = \frac{570753{,}60}{950{,}886} = 602 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{IV} = \frac{262664 \cdot \frac{5{,}190}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 77{,}6180 \cdot 18{,}726 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 3{,}100} = \frac{681613{,}08}{985{,}041} = 691 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$w_{V} = \frac{300028 \cdot \frac{5{,}580}{2}}{\frac{2}{3} \cdot 77{,}6180 \cdot 19{,}326 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 3{,}700} = \frac{837078{,}12}{1019{,}20} = 821 \text{ kg auf 1 qm}.$$

In Spalte 11):

$$p_{-2,5} = \frac{3534}{0{,}73042} = 4838 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_0 = \frac{8404}{1{,}00531} = 8360 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_6 = \frac{24143}{1{,}40586} = 17173 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{12} = \frac{45764}{1{,}91857} = 23853 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{18} = \frac{73450}{2{,}44290} = 30067 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{24} = \frac{107918}{3{,}02693} = 35671 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{30} = \frac{181064}{11{,}1453} = 16246 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{\mathrm{I}} = \frac{198728}{14{,}7204} = 13500 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{\mathrm{II}} = \frac{217078}{14{,}1561} = 15335 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{\mathrm{III}} = \frac{237814}{17{,}2800} = 13762 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{\mathrm{IV}} = \frac{262664}{20{,}7081} = 12684 \text{ kg auf 1 qm;}$$

$$p_{\mathrm{V}} = \frac{300028}{31{,}1364} = 9636 \text{ kg auf 1 qm;}$$

In Spalte 12):

$$M_{W,-2,5} = 125 \cdot \frac{2}{3} \cdot 4{,}1250 \cdot 1{,}237 = 425{,}219;$$

$$M_{W,0} = 125 \cdot \frac{2}{3} \cdot 8{,}5000 \cdot 2{,}451 = 1736{,}125;$$

$$M_{W,6} = 125 \cdot \frac{2}{3} \cdot 20{,}0200 \cdot 5{,}278 = 8805{,}463;$$

$$M_{W,12} = 125 \cdot \frac{2}{3} \cdot 32{,}9800 \cdot 8{,}003 = 21994{,}875;$$

$$M_{W,18} = 125 \cdot \frac{2}{3} \cdot 47{,}3800 \cdot 10{,}644 = 42026{,}000;$$

$$M_{W,24} = 125 \cdot \frac{2}{3} \cdot 63{,}2200 \cdot 13{,}214 = 69615{,}750;$$

$$M_{W,30} = 125 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 77{,}6180 \cdot 16{,}326 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 0{,}700\right) = 106052{,}500;$$

$$M_{W,I} = 125 \cdot (\tfrac{2}{3} \cdot 77{,}6180 \cdot 16{,}926 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 1{,}300) = 110321{,}875;$$

$$M_{W,II} = 125 \cdot (\tfrac{2}{3} \cdot 77{,}6180 \cdot 17{,}526 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 1{,}900) = 114591{,}375;$$

$$M_{W,III} = 125 \cdot (\tfrac{2}{3} \cdot 77{,}6180 \cdot 18{,}126 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 2{,}500) = 118860{,}750;$$

$$M_{W,IV} = 125 \cdot (\tfrac{2}{3} \cdot 77{,}6180 \cdot 18{,}726 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 3{,}100) = 123130{,}125;$$

$$M_{W,V} = 125 \cdot (\tfrac{2}{3} \cdot 77{,}6180 \cdot 19{,}326 + 1 \cdot 5{,}1800 \cdot 3{,}700) = 127400{,}000.$$

In Spalte 13):

$$\alpha_{-2,5} = \frac{425{,}219}{3534} = 0{,}120 \text{ m};$$

$$\alpha_0 = \frac{1736{,}125}{8404} = 0{,}207 \text{ m};$$

$$\alpha_6 = \frac{8805{,}463}{24143} = 0{,}365 \text{ m};$$

$$\alpha_{12} = \frac{21994{,}875}{45764} = 0{,}481;$$

$$\alpha_{18} = \frac{42026{,}000}{73450} = 0{,}572;$$

$$\alpha_{24} = \frac{69615{,}750}{107918} = 0{,}645 \text{ m};$$

$$\alpha_{30} = \frac{106052{,}500}{181064} = 0{,}589 \text{ m};$$

$$\alpha_I = \frac{110321{,}875}{198728} = 0{,}555 \text{ m};$$

$$\alpha_{II} = \frac{114591{,}375}{217078} = 0{,}528 \text{ m};$$

$$\alpha_{III} = \frac{118860{,}750}{237814} = 0{,}500 \text{ m};$$

$$\alpha_{IV} = \frac{123130{,}125}{262664} = 0{,}469 \text{ m};$$

$$\alpha_V = \frac{127400{,}000}{300028} = 0{,}425 \text{ m}.$$

In Spalte 14):

$$P_{-5} = \frac{1{,}600}{8} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}300}{1{,}600}\right]^2\right) = 0{,}332 \text{ m};$$

$$P_{-2,5} = \frac{1{,}700}{8} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}400}{1{,}700}\right]^2\right) = 0{,}357 \text{ m};$$

$$P_0 = \frac{1{,}800}{8} \cdot \left(1 + \left[\frac{1{,}400}{1{,}800}\right]^2\right) = 0{,}361 \text{ m};$$

Für die Querschnitte 6—6, 12—12, 18—18, 24—24, 30—30, I—I, II—II, III—III, IV—IV, V—V, welche eine Aenderung nicht erfahren haben, sind die Werthe der P aus der ersten Tabelle zu entnehmen.

Ferner wird in Spalte 15):

$$\frac{\alpha_{-2,5}}{P_{-2,5}} = \frac{0,120}{0,357} = 0,336134;$$

$$\frac{\alpha_0}{P_0} = \frac{0,207}{0,361} = 0,573407;$$

$$\frac{\alpha_6}{P_6} = \frac{0,365}{0,400} = 0,912500;$$

$$\frac{\alpha_{12}}{P_{12}} = \frac{0,481}{0,436} = 1,103211;$$

$$\frac{\alpha_{18}}{P_{18}} = \frac{0,572}{0,476} = 1,201680;$$

$$\frac{\alpha_{24}}{P_{24}} = \frac{0,645}{0,516} = 1,250000;$$

$$\frac{\alpha_{30}}{P_{30}} = \frac{0,589}{0,732} = 0,804644;$$

$$\frac{\alpha_{I}}{P_{I}} = \frac{0,555}{0,730} = 0,760273;$$

$$\frac{\alpha_{II}}{P_{II}} = \frac{0,528}{0,735} = 0,718367;$$

$$\frac{\alpha_{III}}{P_{III}} = \frac{0,500}{0,800} = 0,625000;$$

$$\frac{\alpha_{IV}}{P_{IV}} = \frac{0,469}{0,865} = 0,542196;$$

$$\frac{\alpha_{V}}{P_{V}} = \frac{0,425}{0,930} = 0,456989;$$

und schliesslich ist in Spalte 16):

Windabwärts:		Windaufwärts:	
$\sigma_{-2,5} = 4838 \cdot 1,336134 = 6464$ kg		$\sigma_{-2,5} = 4838 \cdot 0,663866 = +3212$ kg	
$\sigma_0 = 8360 \cdot 1,573407 = 13154$ kg		$\sigma_0 = 8360 \cdot 0,426593 = +3566$ kg	
$\sigma_6 = 17173 \cdot 1,912500 = 32843$ kg		$\sigma_6 = 17173 \cdot 0,087500 = +1503$ kg	
$\sigma_{12} = 23853 \cdot 2,103211 = 50168$ kg		$\sigma_{12} = 23853 \cdot -0,103211 = -2462$ kg	
$\sigma_{18} = 30067 \cdot 2,201680 = 66198$ kg		$\sigma_{18} = 30067 \cdot -0,201680 = -6064$ kg	
$\sigma_{24} = 35671 \cdot 2,250000 = 80260$ kg	auf 1 qm.	$\sigma_{24} = 35671 \cdot -0,250000 = -8918$ kg	auf 1 qm.
$\sigma_{30} = 16246 \cdot 1,804644 = 29318$ kg		$\sigma_{30} = 16246 \cdot 0,195356 = +3774$ kg	
$\sigma_I = 13500 \cdot 1,760273 = 23764$ kg		$\sigma_I = 13500 \cdot 0,239727 = +3236$ kg	
$\sigma_{II} = 15335 \cdot 1,718367 = 26351$ kg		$\sigma_{II} = 15335 \cdot 0,281633 = +4319$ kg	
$\sigma_{III} = 13762 \cdot 1,625000 = 22363$ kg		$\sigma_{III} = 13762 \cdot 0,375000 = +5161$ kg	
$\sigma_{IV} = 12684 \cdot 1,542196 = 19561$ kg		$\sigma_{IV} = 12684 \cdot 0,457804 = +5807$ kg	
$\sigma_V = 9636 \cdot 1,456989 = 14040$ kg		$\sigma_V = 9636 \cdot 0,543011 = +5232$ kg	

Unsere Annahme, dass der Schornstein eine Erhöhung zulässt, ist durch die Rechnung bestätigt.

Die Esse besitzt in der Höhenlage 24—24 einen gefährlichen Querschnitt. Daselbst beträgt die grösste Beanspruchung des Mauerwerkes:

auf Druck: 80260 kg pro 1 qm, = 8,0260 kg pro 1 qcm,
auf Zug: 8918 kg pro 1 qm, = 0,8918 kg pro 1 qcm;

auch wird der Schornstein bei einem Winddruck $w \geq 267$ kg pro 1 qm im Querschnitt 24—24 abbrechen. Die grösste Belastung des Baugrundes haben wir zu:

14040 kg auf 1 qm, = 1,4040 kg auf 1 qcm

gefunden.

Sämmtliche Werthe liegen innerhalb der als zulässig zu erachtenden Grenzen.

Vergleicht man die erhöhte Esse mit der ursprünglichen, so ergiebt sich Folgendes:

Es beträgt:

Vor der Erhöhung:	Nach der Erhöhung:
Die grösste Beanspruchung des Mauerwerkes auf Zug:	
—	8918 kg auf 1 qm.
Die grösste Beanspruchung des Mauerwerkes auf Druck:	
65433 kg auf 1 qm.	80260 kg auf 1 qm (das sind rund 23 % mehr).
Die grösste Belastung des Baugrundes:	
12901 kg auf 1 qm.	14040 kg auf 1 qm (das sind rund 9 % mehr).
Der kritische Winddruck:	
337 kg auf 1 qm.	267 kg auf 1 qm (das sind rund 21 % weniger).

Im Allgemeinen wird die eintretende grössere Belastung des Mauerwerkes und Baugrundes der Erhöhung eines Schornsteines nicht hinderlich sein, weil in der Praxis für die Beanspruchung der Baumaterialien Erfahrungswerthe gebräuchlich sind, welche weit unter der Festigkeitsgrenze der betreffenden Materialien liegen und somit hohe Sicherheit gegen Bruch gewähren; dagegen wird die schnell sinkende Standfestigkeit der Schornstein-Erhöhung sehr bald ein Ziel setzen. Um diesen Uebelstand zu vermeiden, das heisst die Stabilitätsgrenze möglichst hoch zu halten, ist in Vorschlag gebracht worden, die Essenköpfe mit gusseisernen Gewichten zu belasten,

welche derart anzubringen sind, dass die Angriffsfläche des Windes eine Vergrösserung nicht erfährt.

Unter der Voraussetzung, dass der kritische Winddruck, wie vor der Erhöhung, $w = 337$ kg auf 1 qm betragen soll, bestimmt sich für den vorliegenden Schornstein die Grösse dieses Kopfgewichtes (q) zu:

$$(8404 + q) \cdot \frac{2{,}760}{2} = \frac{2}{3} \cdot 337 \cdot 8{,}500 \cdot (2{,}451 + 24{,}000),$$

$$q = 28200 \text{ kg},$$

und das Gewicht des über dem Querschnitt 0—0 liegenden Essentheiles zu:

$$G_0 = 36600 \text{ kg}.$$

Ein abgestumpfter Kegel von 5 m Höhe und 1,600 m oberem, beziehungsweise 1,800 m unterem Durchmesser, welcher mit einem cylindrischen Loch von 1,300 m Durchmesser versehen ist, hat einen Rauminhalt von 4,75 cbm und wiegt, aus Gusseisen hergestellt, 36100 kg; das heisst man müsste, um das berechnete Kopfgewicht annähernd zu beschaffen, die ganze Erhöhung der Esse aus Gusseisen ausführen. Angenommen dies sei geschehen, so gestalten sich die Verhältnisse in den Querschnitten 24—24 und V—V wie folgt:

Es wird:

$$p_{24} = \frac{36100 + 99514}{3{,}02693} = 44802 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$p_V = \frac{36100 + 291624}{31{,}1?64} = 10525 \text{ kg auf 1 qm};$$

$$\alpha_{24} = \frac{69615{,}750}{135614} = 0{,}513 \text{ m};$$

$$\alpha_V = \frac{127400{,}000}{327724} = 0{,}389 \text{ m};$$

$$\frac{\alpha_{24}}{P_{24}} = \frac{0{,}513}{0{,}516} \sim 1;$$

$$\frac{\alpha_V}{P_V} = \frac{0{,}389}{0{,}930} \sim 0{,}42;$$

und sonach beträgt:

die grösste Belastung des Mauerwerkes im Querschnitt 24—24:

$$\sigma_{24} = 44802 \cdot 2 = 89604 \text{ kg auf 1 qm};$$

die grösste Belastung des Baugrundes:

$$\sigma_V = 10525 \cdot 1{,}42 = 14945 \text{ kg auf 1 qm};$$

Zugspannungen treten im Mauerwerk nicht mehr auf.

Wie wir sehen, stehen dem Aufbringen eines gusseisernen Essenkopfes von 5 m Höhe technische Bedenken nicht entgegen; dagegen dürfte dieses Vorhaben wohl an den Kosten scheitern, welche sich auf ca. 9000 Mark belaufen würden.

Endlich lehrt dieses Beispiel noch, welchen verschwindenden Einfluss eine gewöhnliche, gusseiserne Essenabdeckung, die für den gegebenen Schornstein etwa 350 kg wiegt, auf die Stabilität, sowie auf die Materialbeanspruchung des Schornsteines ausübt.

An dieser Stelle kann es sich der Verfasser nicht versagen, eigenartiger Essengewichte Erwähnung zu thun, welche 1885 durch Professor Intze eingeführt wurden und seitdem mehr und mehr Verbreitung gefunden haben. Es sind dies die Intze'schen Kaminreservoire, um die Esse gebaute, schmiedeeiserne Hochbehälter für Wasserleitungen. Dieselben ruhen mit ihrem Gewicht auf dem Essenmauerwerk, das zu diesem Zweck einer verhältnissmässig geringen Verstärkung bedarf.

Durch ein solches Bassin erfährt zwar das Moment des Winddruckes eine Erhöhung, aber auch das Gewichtsmoment wächst bereits durch die Last des leeren Gefässes bedeutend. Man hat also zwischen diesen beiden Grössen zu vermitteln und darauf zu achten, dass die erstere nicht zu gross ausfällt. Aus diesem Grunde wird man das Bassin nur so hoch legen, als es die benöthigte Druckhöhe verlangt, und so sehen wir diese Behälter selten am Essenkopf, sondern meist in mittlerer Höhe angebracht.

Der Fassungsraum der bis jetzt ausgeführten Intze'schen Kaminreservoire bewegte sich zwischen den Grenzen 10 und 200 cbm.

Ferner wollen wir auch in diesem Fall die Wirkung des übereck auftreffenden Windes ermitteln. Unverändert bleibt die Beanspruchung des Mauerwerkes durch die Eigenlast des Schornsteines (p), und da die Esse mit Ausnahme des nur 1,400 m hohen Uebergangs zwischen Sockel und Fundament durchgängig kreisförmigen Querschnitt besitzt, so können wir, ohne einen Fehler zu begehen, das Moment des übereck auftreffenden und dasjenige des normal auftreffenden Windes als gleich annehmen, woraus wiederum die Gleichheit von α und α' folgt.

Wir erhalten nunmehr die auf Seite 124 wiedergegebene Tabelle.

In Spalte 14) wird:

$\varrho_{30} = 0{,}707 \cdot 0{,}732 = 0{,}518$ m;

$\varrho_{I} = 0{,}707 \cdot 0{,}730 = 0{,}516$ m;

$$\varrho_{II} = \frac{1}{16{,}97 \cdot 4{,}410} \cdot (2 \cdot 4{,}410^2 + 4{,}410 \cdot 1{,}200 + 1{,}200^2) = 0{,}610 \text{ m};$$

$$\varrho_{III} = \frac{1}{16{,}97 \cdot 4{,}800} \cdot (2 \cdot 4{,}800^2 + 4{,}800 \cdot 1{,}200 + 1{,}200^2) = 0{,}654 \text{ m};$$

$$\varrho_{IV} = \frac{1}{16{,}97 \cdot 5{,}190} \cdot (2 \cdot 5{,}190^2 + 5{,}190 \cdot 1{,}200 + 1{,}200^2) = 0{,}699 \text{ m};$$

$$\varrho_V = 0{,}707 \cdot 0{,}930 = 0{,}658 \text{ m}$$

1	11	13	14	15	16		17
Höhenlage	Beanspruchung durch Eigenlast	Entfernung des Schnittpunktes der Resultante vom Mittelpunkt	Entfernung der Kernlinie vom Mittelpunkt		Beanspruchung des Mauerwerkes		Höhenlage
					windabwärts $\sigma' = p \cdot \left(1 + \frac{\alpha'}{\varrho}\right)$	windaufwärts $\sigma' = p \cdot \left(1 - \frac{\alpha'}{\varrho}\right)$	
H	$p = G : F$	$\alpha' = e = M_W : G$	ϱ	$\alpha' : \varrho$			H
m	kg/qm	m	m	—	kg/qm	kg/qm	m
30	16246	0,589	0,518	1,137065	34719	—2227	30
I	13500	0,555	0,516	1,075581	28020	—1020	I
II	15335	0,528	0,610	0,865573	28609	+ 2061	II
III	13762	0,500	0,654	0,764526	24283	+ 3241	III
IV	12684	0,469	0,699	0,670958	21194	+ 4174	IV
V	9636	0,425	0,658	0,645896	15860	+ 3412	V

In Spalte 15) wird:

$$\frac{\alpha'_{30}}{\varrho_{30}} = \frac{0{,}589}{0{,}518} = 1{,}137065;$$

$$\frac{\alpha'_{I}}{\varrho_{I}} = \frac{0{,}555}{0{,}516} = 1{,}075581;$$

$$\frac{\alpha'_{II}}{\varrho_{II}} = \frac{0{,}528}{0{,}610} = 0{,}865573;$$

$$\frac{\alpha'_{III}}{\varrho_{III}} = \frac{0{,}500}{0{,}654} = 0{,}764526;$$

$$\frac{\alpha'_{IV}}{\varrho_{IV}} = \frac{0{,}469}{0{,}699} = 0{,}670958;$$

$$\frac{\alpha'_{V}}{\varrho_{V}} = \frac{0{,}425}{0{,}658} = 0{,}645896;$$

In Spalte 16) wird:

Windabwärts:		Windaufwärts:	
$\sigma'_{30} = 16246\ 2{,}137065 = 34719$ kg	auf 1 qm.	$\sigma'_{30} = 16246. - 0{,}137065 = -2227$ kg	auf 1 qm.
$\sigma'_{I} = 13500.2{,}075581 = 28020$ kg		$\sigma'_{I} = 13500. - 0{,}075581 = -1020$ kg	
$\sigma'_{II} = 15335.1{,}865573 = 28609$ kg		$\sigma'_{II} = 15335.0{,}134427 = +2061$ kg	
$\sigma'_{III} = 13762.1{,}764526 = 24283$ kg		$\sigma'_{III} = 13762.0{,}235474 = +3241$ kg	
$\sigma'_{IV} = 12684.1{,}670958 = 21194$ kg		$\sigma'_{IV} = 12684.0{,}329042 = +4174$ kg	
$\sigma'_{V} = 9636.1{,}645896 = 15860$ kg		$\sigma'_{V} = 9636.0{,}354104 = +3412$ kg	

Ein Vergleich des zuletzt gewonnenen Resultates mit unserer zweiten Tabelle zeigt, dass sobald der normal auftreffende Wind umspringt und eine Richtung annimmt, welche mit der Diagonale eines Fundamentquerschnittes zusammenfällt, der Schornstein, dessen Mauerwerk vorher nur zwischen den Höhenlagen 6—6 und 30—30 auf Zug beansprucht wurde, jetzt zwischen den Höhenlagen 6—6 und II—II Zugspannungen zu erleiden hat, dass ferner im Querschnitt 30—30 die Druckspannung windabwärts von 29318 kg pro 1 qm auf 34719 kg pro 1 qm anwächst (Zunahme rund 18%), und dass die Belastung des Baugrundes von 14040 kg pro 1 qm auf 15860 kg pro 1 qm (Zunahme rund 13%) steigt.

Unverändert bleiben die Verhältnisse in dem gefährlichen Querschnitt 24—24.

Schliesslich sei in diesem Beispiel noch der Einfluss klargelegt, welchen eine Abweichung der Schornsteinachse von der Lothrechten mit sich bringt.

Zu diesem Zwecke betrachten wir den 35 m hohen Schornstein unter der Voraussetzung, dass einmal:

Die Lothabweichung in Höhe der Mündung 0,600 m beträgt,

und dass zweitens:

Die Schornsteinachse auch nach der Senkung des Bauwerkes eine Gerade bildet.

Es fragt sich:

Wie beeinflusst ein derartiges Schiefstehen der Esse

1. die Standfestigkeit und
2. die Inanspruchnahme des Mauerwerkes?

Die Erörterungen zu Frage 1) wollen wir auf die Querschnitte 24—24 und 30—30, diejenigen zu Frage 2) nur auf den ersteren, den gefährlichen Querschnitt erstrecken.

Durch das Neigen des Schornsteines bleiben:

Der Winddruck: ($W = \zeta \cdot f \cdot w$),
der Hebelarm des Winddruckes: (s) und
das Schornsteingewicht: (G)

unverändert;

der Hebelarm des Gewichtes: $\left(\frac{D}{2}\right)$

dagegen erfährt eine Verkürzung: (a).

Sodann gilt für die schiefstehende Esse:

$$w_{/} \cdot \zeta \cdot f \cdot s = G \cdot \left(\frac{D}{2} - a\right),$$

für den lothrechten Schornstein:

$$w_{\perp} \cdot \zeta \cdot f \cdot s = G \cdot \frac{D}{2},$$

und es folgt:

$$w_{/} = w_{\perp} \cdot \left| \frac{\frac{D}{2} - a}{\frac{D}{2}} \right|,$$

$$w_{/} = w_{\perp} \cdot \left(\frac{D - 2a}{D}\right). \qquad 65)$$

Hierin bezeichnet:

$w_{\perp}$ den kritischen Winddruck für den geraden Schornstein in Kilogramm auf das Quadratmeter einer zur Windrichtung senkrechten Ebene und

$w_{/}$ den analogen Winddruck für die geneigte Esse.

Die Beanspruchung des Mauerwerkes eines lothrechten Schornsteines fanden wir im Abschnitt IV

windabwärts zu:	windaufwärts zu:
58) $\sigma = p \cdot (1 + \frac{\alpha}{P})$,	$\sigma = p \cdot (1 - \frac{\alpha}{P})$

und zwar bedeutet:

p = die specifische Belastung des Mauerwerkes bei Windstille,

α = die Entfernung des Durchschnittspunktes der Resultante aus Winddruck und Schornsteingewicht vom Mittelpunkt,

P = die Entfernung der Kernlinie vom Mittelpunkt.

Ferner liess sich die Einwirkung von Eigenlast und Winddruck als die Wirkung einer im Centrum angreifenden Kraft G und eines Kräftepaares G darstellen, dessen Hebelarm α war. Da sich nun bei der schiefstehenden Esse der Winddruck und sein Hebelarm, sowie das Schornsteingewicht nicht ändern, so schneidet die Resultante aus Winddruck und Schornsteingewicht den zu untersuchenden Querschnitt **in der Entfernung** α **vom Durchschnittspunkt der Gewichtslinie, oder in der Entfernung** $(\alpha + a)$ **vom Mittelpunkt.** Das heisst:

Die Inanspruchnahme des Mauerwerkes, welche durch Eigengewicht und Winddruck bei einem schiefstehenden Schornstein erzeugt wird, ist aufzufassen als die Wirkung einer im Mittelpunkt angreifenden Kraft G und eines Kräftepaares G mit dem Hebelarm $(\alpha + a)$; und wir erhalten für die Beanspruchung des Mauerwerkes der geneigten Esse die Gleichung:

66) $$\sigma = p \cdot \left(1 \pm \left[\frac{\alpha + a}{P}\right]\right).$$

Unsere ganze Untersuchung gipfelt sonach in der Ermittlung der Grösse a; und da hierbei Schwerpunktsbestimmungen in Frage kommen, so empfiehlt es sich, diese Aufgabe graphisch zu behandeln.

Auf Blatt XV ist das Massendiagramm des Schornsteines als schraffirte Fläche dargestellt. Die einzelnen Absätze bilden Trapeze, deren Schwerpunkte gleichzeitig die Angriffspunkte für die Gewichte der betreffenden Schornsteinabsätze geben. Zur Bestimmung dieser Schwerpunkte bedient man sich des allgemein bekannten Verfahrens, welches an dem Trapez $BDGE$ nochmals gezeigt ist.

Man halbirt $\overline{BD}$ und $\overline{EG}$ und verbindet die so gefundenen Punkte C und F geradlinig mit einander; des Weiteren verlängert man:

$\overline{DB}$ um die Strecke $\overline{BA} = \overline{GE}$,

$\overline{EG}$ um die Strecke $\overline{GH} = \overline{BD}$

und verbindet A mit H. Der Durchschnittspunkt der Geraden $\overline{CF}$ und $\overline{AH}$ ist der gesuchte Schwerpunkt.

In der Vertikalen $-5|30$ sind sodann die Gewichte der einzelnen Absätze aneinander gereiht, und hierauf, nachdem der Pol C beliebig gewählt war, die Geraden:

$C|-5$; $C|-2{,}5$; $C|0$; $C|6$; $C|12$; $C|18$; $C|24$; $C|27$; $C|28{,}6$ und $C|30$

gezogen worden.

Zieht man jetzt:

$\overline{MN} \parallel C/30$; $\overline{NO} \parallel C/28{,}6$; $\overline{OP} \parallel C/27$; $\overline{PQ} \parallel C/24$; $\overline{QR} \parallel C/18$;

$\overline{RS} \parallel C/12$; $\overline{ST} \parallel C/6$; $\overline{TU}\ C/0$; $\overline{UV} \parallel C/-2{,}5$ und $\overline{VW} \parallel C/-5$,

so erhält man das Seilpolygon:

$$„MNOPQRSTUVW“$$

und in dem Schnittpunkt der verlängerten Polygonseiten $\overline{MN}$ und $\overline{VW}$, beziehungsweise $\overline{PQ}$ und $\overline{VW}$ die Schwerpunktslage für das gesammte, oberirdische Essenmauerwerk, beziehentlich diejenige für den über dem Querschnitt 24—24 befindlichen Essentheil.

Tragen wir nunmehr über der Horizontalen $30/-5$ im Punkte -5 die Lothabweichung der Essenmündung als Ordinate auf, und verbinden wir den so erhaltenen Punkt mit dem Punkt 30, so giebt die zu einer bestimmten Abscisse (Höhenlage) gehörige Ordinate die Abweichung vom Lothe in jener Höhe an.

So beträgt beispielsweise die Lothabweichung in der Höhenlage des Gesammtschwerpunktes $S_{30/-5}$: 0,195 m, in der Höhenlage 24—24: 0,103 m, und in der Höhenlage des Schwerpunktes $S_{24/-5}$: 0,293 m.

Es schneidet aber, wie leicht zu übersehen, das im Gesammtschwerpunkt $S_{30/-5}$ angreifende Essengewicht den Querschnitt 30—30 in der Entfernung: $a_{30} = 0{,}195$ m vom Mittelpunkt, und das im Schwerpunkt $S_{24/-5}$ angreifende Essengewicht den Querschnitt 24—24 in der Entfernung: $a_{24} = 0{,}293 - 0{,}103 = 0{,}190$ m vom Mittelpunkt, und somit sind die von uns gesuchten Grössen a_{30} und a_{24} gefunden.

In den beiden unteren Ecken auf Blatt XV ist die Untersuchung der Stabilitätsverhältnisse, wie folgt, graphisch weitergeführt. Von dem Ursprung eines rechtwinkligen Coordinatensystems ist der Hebelarm des Gewichtes $\frac{D}{2}$ als Abscisse, die Stabilitätsgrenze $w_\perp$ als Ordinate aufgetragen und sind die erhaltenen Punkte mit einander verbunden Trägt man hierauf die Grösse a gleichfalls vom Ursprung aus als Abscisse auf, so giebt die dazugehörige Ordinate die Stabilitätsgrenze $w/$ für den geneigten Schornstein.

Denn es verhält sich:

$$\frac{w/}{w_\perp} = \frac{\frac{D}{2} - a}{\frac{D}{2}},$$

$$w/ = w_\perp \cdot \frac{D - 2a}{D}.$$

Auf diese Weise finden wir für die schrägstehende Esse als Grenze der Standfestigkeit:

$w_{24} = 230$ kg auf 1 qm (siehe das strichpunktirte Diagramm in der linken, unteren Ecke),

$w_{30} = 352$ kg auf 1 qm (siehe das strichpunktirte Diagramm in der rechten, unteren Ecke).

Die Beanspruchung des Mauerwerkes im Querschnitt 24—24 bestimmen wir an der Hand der Rechnung.

Wie oben gezeigt, wird:

$$\sigma = p \cdot \left(1 \pm \frac{\alpha + a}{P}\right),$$

und da:

$p = 35671$ kg auf 1 qm,

$\alpha = 0{,}645$ m,

$a = 0{,}190$ m,

$P = 0{,}516$ m,

so wird:

Windabwärts:	Windaufwärts:
$\sigma = 35671 \cdot \left(1 + \frac{0{,}835}{0{,}516}\right)$,	$\sigma = 35671 \cdot \left(1 - \frac{0{,}835}{0{,}516}\right)$,
$\sigma = +93395$ kg auf 1 qm.	$\sigma = -22052$ kg auf 1 qm.

Wir sind somit zu folgendem Resultat gelangt.

Trotzdem in Höhe der Essenmündung die Abweichung von der Lothrechten $a = 0{,}600$ m beträgt, bleibt die Standfestigkeit des Schornsteines eine gerade noch genügende; die Druckspannungen überschreiten das zulässige Mass nicht und auch die Zugspannungen nähern sich eben erst der als zulässig erachteten oberen Grenze. **Man braucht also, wenn weitere Senkungen des Grundes vollständig ausgeschlossen sind, den Schornstein nicht abzutragen, sondern kann zur Geraderichtung der Esse durch Ansägen übergehen.***)

*) Ein hervorragendes Beispiel für das Geraderichten eines Schornsteines enthält folgende Zeitungsnachricht: Caternberg bei Essen, 7. August. Ein Meisterstück der Bautechnik ist hier vor kurzem ausgeführt worden. Ein 83 Meter hoher Kamin der Zeche „Zollverein" (Schacht I), der im Jahre 1860 errichtet ist, war im Laufe der Zeit, sei es durch Witterungsverhältnisse oder infolge schlechter Arbeiten, weit über 2 Meter aus dem Loth gekommen und machte somit einen alles befürchtenden Eindruck. Da es nicht ausgeschlossen erschien, dass eines guten Tages der Schornstein vollständig aus

5. Beispiel.

(Hierzu Blatt XVI.)

Für den gegenwärtig höchsten Schornstein der Erde, die „Hohe Esse" der Königlichen Halsbrückner Hütte, ist der Einfluss des übereckwehenden Windes auf die Belastung des Baugrundes zu ermitteln.

Dieser Schornstein besitzt einen runden Schaft von 131 m Höhe und einen quadratischen Sockel von 9 m Höhe; die Bausohle liegt 3 m unter Tage. Nach Hüppner, vergleiche das „Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1890", waren zu diesem Bau:

393,1 cbm Grundmauerwerk,
502,2 cbm Sockelmauerwerk und
1802,7 cbm Säulenmauerwerk,

im Ganzen 2698,0 cbm Mauerwerk

erforderlich, welche bei einem specifischen Gewicht von $\gamma = 2000$ kg pro 1 cbm eine Last von 5396000 kg darstellen. Da die Basis des Grundmauerwerkes 12 m im Quadrat misst, also 144 qm bedeckt, so beträgt die Belastung des Baugrundes bei Windstille:

$$p = \frac{5396000}{144} = 37472 \text{ kg auf 1 qm.}$$

Blatt XVI zeigt die Projektion der Esse auf eine zur Windrichtung senkrechte Ebene.

---

den Fugen ginge und umstürze, wodurch dann ein unermesslicher Schaden entstanden wäre, zweifellos dies auch noch Menschenleben gekostet hätte, so beschloss in diesem Frühjahr die Zechen-Verwaltung, den Kamin niederzureissen. Vorher wendete man sich noch an mehrere deutsche Specialfirmen mit der Anfrage, ob es nicht möglich sei, den Schornstein wieder gerade zu richten. Die angefragten Firmen lehnten es ab, im Hinblick auf die hohe Gefahr des Umsturzes und die hierdurch entstehenden Kosten, auf die Offerte einzugehen. Nur eine Firma, und zwar Klapproth & Adolph in Dortmund, bot sich an, *den Kamin in kurzer Zeit in seine alte Lage zu bringen, ohne dass darunter der Betrieb der Zeche leide. Nach vierwöchentlicher Arbeit hat die Firma das Werk glücklich vollbracht;* der Schornstein ragt jetzt wieder kerzengerade in die Lüfte. Der Koloss von Schornstein ist an drei Stellen quer durchschnitten worden, nur dadurch war es eben möglich, ihn wieder gerade zu richten. Dass dieses Geraderichten mit hoher Gefahr verbunden gewesen, ist begreiflich. Vermochte doch ein einziger Windstoss den Kamin umzustürzen, als er durchschnitten frei auf einigen Holzblöcken ruhte. Die genannte Firma hat wirklich ein Werk ausgeführt, wie es bis jetzt auszuführen wohl noch keine vermocht hat.

Hiernach ist:

Bei normal auftreffendem Winde:	Bei übereckwehendem Winde:
$f_1 = 736{,}8750$ qm,	$f_1' = 736{,}8750$ qm,
$f_2 = 29{,}1375$ qm,	$f_2' = 41{,}2125$ qm,
$f_3 = 49{,}2250$ qm,	$f_3' = 69{,}6300$ qm,

und da die Angriffspunkte des Winddruckes:

$$s_1 = \frac{8{,}250 + 2 \cdot 3{,}000}{8{,}250 + 3{,}000} \cdot \frac{131{,}000}{3} + 12{,}000 = 67{,}311 \text{ m} = s_1',$$

$$s_2 = \frac{8{,}400 + 2 \cdot 8{,}250}{8{,}400 + 8{,}250} \cdot \frac{3{,}500}{3} + 8{,}500 = 10{,}245 \text{ m} = s_2',$$

$$s_3 = \frac{9{,}500 + 2 \cdot 8{,}400}{9{,}500 + 8{,}400} \cdot \frac{5{,}500}{3} + 3{,}000 = 5{,}694 \text{ m} = s_3'$$

über der Fundamentsohle liegen, so findet sich das Moment des Winddruckes zu:

$$M_W = 125 \cdot (\tfrac{2}{3} \cdot 736{,}8750 \cdot 67{,}311 + 1 \cdot 29{,}1375 \cdot 10{,}245 + 1 \cdot 49{,}2250 \cdot 5{,}694)$$

$$M_W = 4205663$$

$$M_W' = 125 \cdot (\tfrac{2}{3} \cdot 736{,}8750 \cdot 67{,}311 + \tfrac{1}{2} \cdot 41{,}2125 \cdot 10{,}245 + \tfrac{1}{2}\ 69{,}6300 \cdot 5{,}694)$$

$$M_W' = 4184485.$$

Ferner wird:

$$\alpha = \frac{4205663}{5396000} = 0{,}779 \text{ m},$$

$$P = \frac{12{,}000}{6} = 2{,}000 \text{ m},$$

$$\frac{\alpha}{P} = 0{,}3895, \text{ und}$$

$$\sigma = 37472 \cdot 1{,}3895,$$

$$\sigma = \mathbf{52067 \text{ kg auf 1 qm.}}$$

$$\alpha' = \frac{4184485}{5396000} = 0{,}775 \text{ m},$$

$$\varrho = 0{,}707 \cdot P = 1{,}414 \text{ m},$$

$$\frac{\alpha'}{\varrho} = 0{,}5481, \text{ und}$$

$$\sigma' = 37472 \cdot 1{,}5481,$$

$$\sigma' = \mathbf{58010 \text{ kg auf 1 qm.}}$$

Bei übereckwehendem Wind nimmt die Belastung des Baugrundes um 5943 kg auf 1 qm oder rund um 11 % zu.

Schlussbemerkungen.

Die im Abschnitt VI gegebenen Beispiele streifen in ihrer Gesammtheit alle Hauptfragen des Schornsteinbaues und bilden auf Grund der rein schematisch durchgeführten Behandlungsweise ein einheitliches Ganzes.

Beispiel 1) zeigt die Berechnung eines quadratischen, Beispiel 2) diejenige eines achteckigen, und Beispiel 3) diejenige eines runden Schornsteines. Die Untersuchung eines vorhandenen Schornsteines bringen die Beispiele 4) und 5). Gleichzeitig gelangen folgende Nebenfragen zur Erörterung.

In Beispiel 1): Der Einfluss der Verjüngung auf die Standfestigkeit.

In den Beispielen 2), 3), 4) und 5): Der Einfluss des übereckwehenden Windes auf die Beanspruchung des Mauerwerkes, beziehungsweise auf die Belastung des Baugrundes.

In Beispiel 4): Der Einfluss einer Schornstein-Erhöhung, der Einfluss eines gusseisernen Kopfgewichtes und der Einfluss einer Neigung der Esse auf die Standfestigkeit und die Beanspruchung des Mauerwerkes.

Die Höhen der einzelnen Schornstein-Absätze wurden an der Hand des in diesem Buche gegebenen graphischen Verfahrens bestimmt. Als Coefficienten des Winddruckes sind ausschliesslich die auf analytischem Wege aus der Körperform abgeleiteten Werthe angewandt, und hält der Verfasser dies um so gerechtfertigter, als die auf dem Wege des Versuches ermittelten Zahlen nach v. Reiche kleiner, nach v. Lössl grösser ausfallen; die berechneten Coefficienten also in der Mitte liegen.

Die Frage betreffs der Abmessungen der Schornsteine harrt noch der endgültigen Lösung; immerhin dürften aber die auf den Grundzügen der mechanischen Wärmetheorie aufgebauten Formeln vor den rein empirischen den Vorzug verdienen. Gilt es, für eine Feuerungsanlage einen Schornstein zu berechnen, so müssen alle einschlägigen Fragen genau erwogen werden. Vor Allem ist festzustellen, ob die Feuerung eine gleichmässige, oder zeit-

weise eine forcirte sein wird. Trifft das Letztere zu, so muss die Berechnung der Esse für die mögliche Höchstleistung und nicht etwa für die mittlere Leistung erfolgen, ebenso ist von Fall zu Fall zu entscheiden, ob bei dem Neubau eines Schornsteines auf eine zu erwartende Vergrösserung der Feuerungsanlage Rücksicht zu nehmen ist, oder nicht. Die Péclet'schen Formeln, sowie die v. Reiche'sche Formel 34a) liefern, bei Nichtbeachtung des soeben Gesagten, kleinste Werthe, desgleichen die nach jenen Formeln berechneten Tabellen I—VII.

Bezüglich des übereckwehenden Windes sei wiederholt, dass derselbe offenbar grössere Materialbeanspruchungen, als der normal auftreffende Wind hervorruft. Handelt es sich hierbei um Druckspannungen, so sind diese meist belanglos, da wir in der Praxis mit der Belastung des Mauerwerkes weit unter der Bruchgrenze bleiben. Aus demselben Grunde können Zugspannungen im Sockel- und Grundmauerwerk, die an und für sich sehr gering zu sein pflegen, bei übereckwehendem Winde ruhig eine Erhöhung von 20% und mehr erleiden, ohne dass sie das zulässige Mass überschreiten. Dagegen erfahren, wie wir in Beispiel 2) sahen, die Zugspannungen in achteckigen Schornsteinsäulen bei übereckwehendem Winde eine bedeutende Vermehrung, sodass es rathsam erscheint, derartige Schornsteinsäulen so zu bemessen, dass Zugspannungen bei normal auftreffendem Winde gänzlich vermieden werden.

Hier mag noch Erwähnung finden, dass sogenannte Mantelessen in diesem Buche nicht besonders berücksichtigt sind. Dieselben werden zur Zeit in Deutschland nur vereinzelt gebaut; einmal, wenn es gilt, sehr heisse Gase durch den Schornstein abzuführen, oder aber, wenn besonderer Werth darauf gelegt wird, dass der Schornstein durchaus gleichweit und von gleichem Querschnitt ist.*) Man hat es in diesem Falle gewissermassen mit zwei ineinander gesteckten Schornsteinen zu thun. Der innere, welcher nur theilweise mit dem äusseren Mantel verbunden ist, hat lediglich sein eigenes Gewicht zu tragen und ist gegen den Einfluss des Windes durch den Mantel geschützt; der äussere ist der Doppelwirkung von Eigenlast und Winddruck ausgesetzt. Nach Vorstehendem dürfte es nicht schwer fallen, auch derartige Essen an der Hand der oben entwickelten Gleichungen zu berechnen und zu entwerfen.

---

*) Die Firma J. W. Roth-Altgersdorf in Sachsen betreibt den Bau von Mantelessen als Specialität.

Zum Schluss ein Wort in eigener Angelegenheit. Bezüglich der Wiedergabe der Beispiele befürchtet der Verfasser, dass ihm der Vorwurf zu grosser Breite nicht erspart bleiben wird; man kann, und zwar mit gewissem Recht, die stets sich wiederholenden Rechnungs-Ansätze als Ballast bezeichnen und die Streichung des anscheinend Ueberflüssigen fordern.

Aber gerade diese eingehende Behandlungsweise bietet dem interessirten Laien sowohl, wie dem Schüler (ich denke hier auch an die Absolventen unserer Werkmeister- und Baugewerkenschulen) die beste Gelegenheit, die einschlagenden Formeln, deren Entwicklung er nicht allenthalben verfolgen kann, richtig verstehen und anwenden zu lernen; und aus diesem Grunde mussten Kürzungen unterbleiben. Dem ausübenden Praktiker sind hauptsächlich der Abschnitt V), und die Tabellen gewidmet; für ihn wird es genügen, wenn er gelegentlich einen Blick in die Abschnitte I) bis IV) und VI) wirft.

Tabellen.

Tabelle I—VII.*)

Lichte Weite und Höhe der Schornsteine im Verhältniss zum Brennmaterialverbrauch in der Stunde.

Tabelle VIII—XXIII.

Querschnitte des Mauerwerkes für runde Schornsteine von durchaus gleicher Standfestigkeit.

Tabelle XXIV—XLIII.

Umfang und Flächeninhalt von Quadrat, gleichseitigem Achteck und Kreis, Wurzeln, Logarithmen und Reciproken für die Durchmesser, beziehentlich Zahlen $n = 1$ bis $n = 1000$.

*) Diese Tabellen enthalten Minimalwerthe. Man hat daher für Anlagen, bei welchen die Feuerung, entsprechend einer schwankenden Dampfentnahme, zu verschiedenen Zeiten eine mehr oder weniger forcirte ist, nicht den mittleren, sondern den grössten, stündlichen Brennmaterialverbrauch in Betracht zu ziehen. Ebenso ist in allen den Fällen, in welchen eine Vergrösserung der Feuerungsanlage zu erwarten steht, die hierdurch bedingte Zunahme des Brennmaterialaufwandes zu berücksichtigen.

Nach der vereinfachten Péclet'schen Formel: $d_0 = \varkappa_5 \cdot L^{0,4}$; $h = 30 \cdot d_0$. **50—2500**

Kohlenverbrauch in der Stunde B	Rauchgase in der Secunde L	Schornsteinsäule quadratisch lichte Weite d_0	quadratisch Höhe h	achteckig lichte Weite d_0	achteckig Höhe h	rund lichte Weite d_0	rund Höhe h	Rauchgase in der Secunde L	Kohlenverbrauch in der Stunde B
kg	kg	m	m	m	m	m	m	kg	kg
50	0,3056	0,362	10,860	0,390	11,700	0,398	11,940	0,3056	50
100	0,6111	0,477	14,310	0,515	15,450	0,526	15,780	0,6111	100
150	0,9167	0,561	16,830	0,605	18,150	0,618	18,540	0,9167	150
200	1,2222	0,630	18,900	0,679	20,370	0,694	20,820	1,2222	200
250	1,5278	0,689	20,670	0,742	22,260	0,758	22,740	1,5278	250
300	1,8333	0,741	22,230	0,799	23,970	0,816	24,480	1,8333	300
350	2,1389	0,788	23,640	0,849	25,470	0,868	26,040	2,1389	350
400	2,4444	0,831	24,930	0,896	26,880	0,915	27,450	2,4444	400
450	2,7500	0,871	26,130	0,939	28,170	0,960	28,800	2,7500	450
500	3,0555	0,909	27,270	0,980	29,400	1,001	30,030	3,0555	**500**
550	3,3611	0,944	28,320	1,018	30,540	1,040	31,200	3,3611	550
600	3,6666	0,977	29,310	1,054	31,620	1,077	32,310	3,6666	600
650	3,9722	1,009	30,270	1,088	32,640	1,112	33,360	3,9722	650
700	4,2777	1,040	31,200	1,121	33,630	1,145	34,350	4,2777	700
750	4,5833	1,069	32,070	1,152	34,560	1,177	35,310	4,5833	750
800	4,8888	1,097	32,910	1,182	35,460	1,208	36,240	4,8888	800
850	5,1944	1,124	33,720	1,211	36,330	1,237	37,110	5,1944	850
900	5,4999	1,150	34,500	1,239	37,170	1,266	37,980	5,4999	900
950	5,8055	1,175	35,250	1,266	37,980	1,294	38,820	5,8055	950
1000	6,1110	1,199	35,970	1,293	38,790	1,321	39,630	6,1110	**1000**
1050	6,4166	1,223	36,690	1,318	39,540	1,347	40,410	6,4166	1050
1100	6,7221	1,246	37,380	1,343	40,290	1,372	41,160	6,7221	1100
1150	7,0277	1,268	38,040	1,367	41,010	1,397	41,910	7,0277	1150
1200	7,3332	1,290	38,700	1,391	41,730	1,420	42,600	7,3332	1200
1250	7,6388	1,311	39,330	1,413	42,390	1,444	43,320	7,6388	1250
1300	7,9443	1,332	39,960	1,436	43,080	1,467	44,010	7,9443	1300
1350	8,2499	1,352	40,560	1,458	43,740	1,489	44,670	8,2499	1350
1400	8,5554	1,372	41,160	1,479	44,370	1,511	45,330	8,5554	1400
1450	8,8610	1,391	41,730	1,500	45,000	1,532	45,960	8,8610	1450
1500	9,1665	1,410	42,300	1,520	45,600	1,553	46,590	9,1665	**1500**
1550	9,4721	1,429	42,870	1,540	46,200	1,574	47,220	9,4721	1550
1600	9,7776	1,447	43,410	1,560	46,800	1,594	47,820	9,7776	1600
1650	10,083	1,465	43,950	1,579	47,370	1,614	48,420	10,083	1650
1700	10,389	1,483	44,490	1,598	47,940	1,633	48,990	10,389	1700
1750	10,694	1,500	45,000	1,617	48,510	1,652	49,560	10,694	1750
1800	11,000	1,517	45,510	1,635	49,050	1,671	50,130	11,000	1800
1850	11,305	1,534	46,020	1,653	49,590	1,689	50,670	11,305	1850
1900	11,611	1,550	46,500	1,671	50,130	1,707	51,210	11,611	1900
1950	11,916	1,566	46,980	1,689	50,670	1,725	51,750	11,916	1950
2000	12,222	1,582	47,460	1,706	51,180	1,743	52,290	12,222	**2000**
2050	12,528	1,598	47,940	1,723	51,690	1,760	52,800	12,528	2050
2100	12,833	1,613	48,390	1,739	52,170	1,777	53,310	12,833	2100
2150	13,139	1,629	48,870	1,756	52,680	1,794	53,820	13,139	2150
2200	13,444	1,644	49,320	1,772	53,160	1,810	54,300	13,444	2200
2250	13,750	1,659	49,770	1,788	53,640	1,827	54,810	13,750	2250
2300	14,055	1,673	50,190	1,804	54,120	1,843	55,290	14,055	2300
2350	14,361	1,688	50,640	1,819	54,570	1,859	55,770	14,361	2350
2400	14,666	1,702	51,060	1,835	55,050	1,874	56,220	14,666	2400
2450	14,972	1,716	51,480	1,850	55,500	1,890	56,700	14,972	2450
2500	15,278	1,730	51,900	1,865	55,950	1,905	57,150	15,278	**2500**

Brennmaterial: Mittlere Steinkohle. Luftzufuhr: Das Doppelte der theoretisch erforderlichen Luftmenge. Gewicht der Rauchgase: Für jedes Kilogramm verbrannter Kohle 22 kg.

Nach der vereinfachten Péclet'schen Formel: $d_0 = z_5 \cdot L^{0,4}$; $h = 30 \cdot d_0$. **2550—5000**

Kohlenverbrauch in der Stunde B	Rauchgase in der Secunde L	Schornsteinsäule quadratisch: lichte Weite d_0	quadratisch: Höhe h	achteckig: lichte Weite d_0	achteckig: Höhe h	rund: lichte Weite d_0	rund: Höhe h	Rauchgase in der Secunde L	Kohlenverbrauch in der Stunde B
kg	kg	m	m	m	m	m	m	kg	kg
2550	15,583	1,743	52,290	1,880	56,400	1,920	57,600	15,583	2550
2600	15,889	1,757	52,710	1,895	56,850	1,935	58,050	15,889	2600
2650	16,194	1,771	53,130	1,909	57,270	1,950	58,500	16,194	2650
2700	16,500	1,784	53,520	1,923	57,690	1,965	58,950	16,500	2700
2750	16,805	1,797	53,910	1,937	58,110	1,979	59,370	16,805	2750
2800	17,111	1,810	54,300	1,951	58,530	1,994	59,820	17,111	2800
2850	17,416	1,823	54,690	1,965	58,950	2,008	60,240	17,416	2850
2900	17,722	1,835	55,050	1,979	59,370	2,022	60,660	17,722	2900
2950	18,027	1,848	55,440	1,993	59,790	2,035	61,050	18,027	2950
3000	18,333	1,861	55,830	2,006	60,180	2,049	61,470	18,333	**3000**
3050	18,639	1,873	56,190	2,019	60,570	2,063	61,890	18,639	3050
3100	18,944	1,885	56,550	2,033	60,990	2,076	62,180	18,944	3100
3150	19,250	1,897	56,910	2,046	61,380	2,090	62,700	19,250	3150
3200	19,555	1,909	57,270	2,059	61,770	2,103	63,090	19,555	3200
3250	19,861	1,921	57,630	2,071	62,130	2,116	63,480	19,861	3250
3300	20,166	1,933	57,990	2,084	62,520	2,129	63,870	20,166	3300
3350	20,472	1,945	58,350	2,097	62,910	2,142	64,260	20,472	3350
3400	20,777	1,956	58,680	2,109	63,270	2,155	64,650	20,777	3400
3450	21,083	1,968	59,040	2,121	63,630	2,167	65,010	21,083	3450
3500	21,389	1,979	59,370	2,134	64,020	2,180	65,400	21,389	**3500**
3550	21,694	1,990	59,700	2,146	64,380	2,192	65,760	21,694	3550
3600	22,000	2,002	60,060	2,158	64,740	2,204	66,120	22,000	3600
3650	22,305	2,013	60,390	2,170	65,100	2,217	66,510	22,305	3650
3700	22,611	2,024	60,720	2,182	65,460	2,229	66,870	22,611	3700
3750	22,916	2,034	61,020	2,193	65,790	2,241	67,230	22,916	3750
3800	23,222	2,045	61,350	2,205	66,150	2,253	67,590	23,222	3800
3850	23,527	2,056	61,680	2,217	66,510	2,264	67,920	23,527	3850
3900	23,833	2,067	62,010	2,228	66,840	2,276	68,280	23,833	3900
3950	24,138	2,077	62,310	2,239	67,170	2,288	68,640	24,138	3950
4000	24,444	2,087	62,610	2,251	67,530	2,299	68,970	24,444	**4000**
4050	24,750	2,098	62,940	2,262	67,860	2,311	69,330	24,750	4050
4100	25,055	2,108	63,240	2,273	68,190	2,322	69,660	25,055	4100
4150	25,361	2,119	63,570	2,284	68,520	2,333	69,990	25,361	4150
4200	25,666	2,129	63,870	2,295	68,850	2,345	70,350	25,666	4200
4250	25,972	2,139	64,170	2,306	69,180	2,356	70,680	25,972	4250
4300	26,277	2,149	64,470	2,317	69,510	2,367	71,010	26,277	4300
4350	26,583	2,159	64,770	2,328	69,840	2,378	71,340	26,583	4350
4400	26,888	2,169	65,070	2,338	70,140	2,389	71,670	26,888	4400
4450	27,194	2,179	65,370	2,349	70,470	2,399	71,970	27,194	4450
4500	27,500	2,188	65,640	2,359	70,770	2,410	72,300	27,500	**4500**
4550	27,805	2,198	65,940	2,370	71,100	2,421	72,630	27,805	4550
4600	28,111	2,208	66,240	2,380	71,400	2,431	72,930	28,111	4600
4650	28,416	2,217	66,510	2,390	71,700	2,442	73,260	28,416	4650
4700	28,722	2,227	66,810	2,401	72,030	2,452	73,560	28,722	4700
4750	29,027	2,236	67,080	2,411	72,330	2,463	73,890	29,027	4750
4800	29,333	2,246	67,380	2,421	72,630	2,473	74,190	29,333	4800
4850	29,638	2,255	67,650	2,431	72,930	2,483	74,490	29,638	4850
4900	29,944	2,264	67,920	2,441	73,230	2,494	74,820	29,944	4900
4950	30,249	2,273	68,190	2,451	73,530	2,504	75,120	30,249	4950
5000	30,555	2,283	68,490	2,461	73,830	2,514	75,420	30,555	**5000**

Brennmaterial: Mittlere Steinkohle. Luftzufuhr: Das Doppelte der theoretisch erforderlichen Luftmenge. Gewicht der Rauchgase: Für jedes Kilogramm verbrannter Kohle 22 kg.

Nach der vereinfachten Péclet'schen Formel: $d_0 = \varkappa_4 \cdot L^{0,4}$; $h = 25 \cdot d_0$. **50—2500**

Kohlenverbrauch in der Stunde B kg	Rauchgase in der Secunde L kg	Schornsteinsäule quadratisch lichte Weite d_0 m	quadratisch Höhe h m	achteckig lichte Weite d_0 m	achteckig Höhe h m	rund lichte Weite d_0 m	rund Höhe h m	Rauchgase in der Secunde L kg	Kohlenverbrauch in der Stunde B kg
50	0,3056	0,376	9,400	0,406	10,150	0,414	10,350	0,3056	50
100	0,6111	0,496	12,400	0,535	13,375	0,547	13,675	0,6111	100
150	0,9167	0,584	14,600	0,630	15,750	0,643	16,075	0,9167	150
200	1,2222	0,655	16,375	0,706	17,650	0,721	18,025	1,2222	200
250	1,5278	0,716	17,900	0,772	19,300	0,789	19,725	1,5278	250
300	1,8333	0,770	19,250	0,831	20,775	0,848	21,200	1,8333	300
350	2,1389	0,819	20,475	0,883	22,075	0,902	22,550	2,1389	350
400	2,4444	0,864	21,600	0,932	23,300	0,952	23,800	2,4444	400
450	2,7500	0,906	22,650	0,977	24,425	0,998	24,950	2,7500	450
500	3,0555	0,945	23,625	1,019	25,475	1,041	26,025	3,0555	**500**
550	3,3611	0,982	24,550	1,059	26,475	1,081	27,025	3,3611	550
600	3,6666	1,016	25,400	1,096	27,400	1,120	28,000	3,6666	600
650	3,9722	1,050	26,250	1,132	28,300	1,156	28,900	3,9722	650
700	4,2777	1,081	27,025	1,166	29,150	1,191	29,775	4,2777	700
750	4,5833	1,111	27,775	1,198	29,930	1,224	30,600	4,5833	750
800	4,8888	1,140	28,500	1,230	30,750	1,256	31,400	4,8888	800
850	5,1944	1,168	29,200	1,260	31,500	1,287	32,175	5,1944	850
900	5,4999	1,195	29,875	1,289	32,225	1,317	32,925	5,4999	900
950	5,8055	1,222	30,550	1,317	32,925	1,345	33,625	5,8055	950
1000	6,1110	1,247	31,175	1,344	33,600	1,373	34,325	6,1110	**1000**
1050	6,4166	1,272	31,800	1,371	34,275	1,400	35,000	6,4166	1050
1100	6,7221	1,295	32,375	1,397	34,925	1,427	35,675	6,7221	1100
1150	7,0277	1,319	32,975	1,422	35,550	1,452	36,300	7,0277	1150
1200	7,3332	1,341	33,525	1,446	36,150	1,477	36,925	7,3332	1200
1250	7,6388	1,363	34,075	1,470	36,750	1,502	37,550	7,6388	1250
1300	7,9443	1,385	34,625	1,493	37,325	1,525	38,125	7,9443	1300
1350	8,2499	1,406	35,150	1,516	37,900	1,549	38,725	8,2499	1350
1400	8,5554	1,427	35,675	1,538	38,450	1,571	39,275	8,5554	1400
1450	8,8610	1,447	36,175	1,560	39,000	1,593	39,825	8,8610	1450
1500	9,1665	1,466	36,650	1,581	39,525	1,615	40,375	9,1665	**1500**
1550	9,4721	1,486	37,150	1,602	40,050	1,637	40,925	9,4721	1550
1600	9,7776	1,505	37,625	1,623	40,575	1,657	41,425	9,7776	1600
1650	10,083	1,523	38,075	1,643	41,075	1,678	41,950	10,083	1650
1700	10,389	1,542	38,550	1,662	41,550	1,698	42,450	10,389	1700
1750	10,694	1,560	39,000	1,682	42,100	1,718	42,950	10,694	1750
1800	11,000	1,577	39,425	1,701	42,525	1,737	43,425	11,000	1800
1850	11,305	1,595	39,875	1,720	43,000	1,757	43,925	11,305	1850
1900	11,611	1,612	40,300	1,738	43,450	1,775	44,375	11,611	1900
1950	11,916	1,629	40,725	1,756	43,900	1,794	44,850	11,916	1950
2000	12,222	1,645	41,125	1,774	44,350	1,812	45,300	12,222	**2000**
2050	12,528	1,662	41,550	1,792	44,800	1,830	45,750	12,528	2050
2100	12,833	1,678	41,950	1,809	45,225	1,848	46,200	12,833	2100
2150	13,139	1,694	42,350	1,826	45,650	1,865	46,625	13,139	2150
2200	13,444	1,709	42,725	1,843	46,075	1,883	47,075	13,444	2200
2250	13,750	1,725	43,125	1,860	46,500	1,899	47,475	13,750	2250
2300	14,055	1,740	43,500	1,876	46,900	1,916	47,900	14,055	2300
2350	14,361	1,755	43,875	1,892	47,300	1,933	48,325	14,361	2350
2400	14,666	1,770	44,250	1,908	47,700	1,949	48,725	14,666	2400
2450	14,972	1,784	44,600	1,924	48,100	1,965	49,125	14,972	2450
2500	15,278	1,799	44,975	1,940	48,500	1,981	49,525	15,278	**2500**

Brennmaterial: Mittlere Steinkohle. Luftzufuhr: Das Doppelte der theoretisch erforderlichen Luftmenge. Gewicht der Rauchgase: Für jedes Kilogramm verbrannter Kohle 22 kg.

Nach der vereinfachten Péclet'schen Formel: $d_0 = \varkappa_4 \cdot L^{0,4}$; $h = 25 \cdot d_0$. **2550—5000**

Kohlenverbrauch in der Stunde B	Rauchgase in der Secunde L	Schornsteinsäule quadratisch lichte Weite d_0	quadratisch Höhe h	achteckig lichte Weite d_0	achteckig Höhe h	rund lichte Weite d_0	rund Höhe h	Rauchgase in der Secunde L	Kohlenverbrauch in der Stunde B
kg	kg	m	m	m	m	m	m	kg	kg
2550	15,583	1,813	45,325	1,955	48,875	1,997	49,925	15,583	2550
2600	15,889	1,827	45,675	1,970	49,250	2,013	50,325	15,889	2600
2650	16,194	1,841	46,025	1,985	49,625	2,028	50,700	16,194	2650
2700	16,500	1,855	46,375	2,000	50,000	2,043	51,075	16,500	2700
2750	16,805	1,869	46,725	2,015	50,375	2,058	51,450	16,805	2750
2800	17,111	1,882	47,050	2,030	50,750	2,073	51,825	17,111	2800
2850	17,416	1,896	47,400	2,044	51,100	2,088	52,200	17,416	2850
2900	17,722	1,909	47,725	2,058	51,450	2,103	52,575	17,722	2900
2950	18,027	1,922	48,050	2,072	51,800	2,117	52,925	18,027	2950
3000	18,333	1,935	48,375	2,086	52,150	2,131	53,275	18,333	**3000**
3050	18,639	1,948	48,700	2,100	52,500	2,145	53,625	18,639	3050
3100	18,944	1,961	49,025	2,114	52,850	2,159	53,975	18,944	3100
3150	19,250	1,973	49,325	2,128	53,200	2,173	54,325	19,250	3150
3200	19,555	1,986	49,650	2,141	53,525	2,187	54,675	19,555	3200
3250	19,861	1,998	49,950	2,154	53,850	2,201	55,025	19,861	3250
3300	20,166	2,010	50,250	2,168	54,200	2,214	55,350	20,166	3300
3350	20,472	2,022	50,550	2,181	54,525	2,227	55,675	20,472	3350
3400	20,777	2,034	50,850	2,194	54,850	2,241	56,025	20,777	3400
3450	21,083	2,046	51,450	2,206	55,150	2,254	56,350	21,083	3450
3500	21,389	2,058	51,450	2,219	55,475	2,267	56,675	21,389	**3500**
3550	21,694	2,070	51,750	2,232	55,800	2,280	57,000	21,694	3550
3600	22,000	2,081	52,025	2,244	56,100	2,293	57,325	22,000	3600
3650	22,305	2,093	52,325	2,257	56,425	2,305	57,625	22,305	3650
3700	22,611	2,104	52,600	2,269	56,725	2,318	57,950	22,611	3700
3750	22,916	2,116	52,900	2,281	57,025	2,330	58,250	22,916	3750
3800	23,222	2,127	53,175	2,293	57,325	2,343	58,575	23,222	3800
3850	23,527	2,138	53,450	2,305	57,625	2,355	58,875	23,527	3850
3900	23,833	2,149	53,725	2,317	57,925	2,367	59,175	23,833	3900
3950	24,138	2,160	54,000	2,329	58,225	2,379	59,475	24,138	3950
4000	24,444	2,171	54,275	2,341	58,525	2,391	59,775	24,444	**4000**
4050	24,750	2,182	54,550	2,352	58,800	2,403	60,075	24,750	4050
4100	25,055	2,193	54,825	2,364	59,100	2,415	60,375	25,055	4100
4150	25,361	2,203	55,075	2,376	59,400	2,427	60,675	25,361	4150
4200	25,666	2,214	55,350	2,387	59,675	2,438	60,950	25,666	4200
4250	25,972	2,224	55,600	2,398	59,950	2,450	61,250	25,972	4250
4300	26,277	2,235	55,875	2,410	60,250	2,461	61,525	26,277	4300
4350	26,583	2,245	56,125	2,421	60,525	2,473	61,825	26,583	4350
4400	26,888	2,255	56,375	2,432	60,800	2,484	62,100	26,888	4400
4450	27,194	2,266	56,650	2,443	61,075	2,495	62,375	27,194	4450
4500	27,500	2,276	56,900	2,454	61,350	2,507	62,675	27,500	**4500**
4550	27,805	2,286	57,150	2,465	61,625	2,518	62,950	27,805	4550
4600	28,111	2,296	57,400	2,476	61,900	2,529	63,225	28,111	4600
4650	28,416	2,306	57,650	2,486	62,150	2,540	63,500	28,416	4650
4700	28,722	2,316	57,900	2,497	62,425	2,551	63,775	28,722	4700
4750	29,027	2,326	58,150	2,507	62,675	2,561	64,025	29,027	4750
4800	29,333	2,335	58,375	2,518	62,950	2,572	64,300	29,333	4800
4850	29,638	2,345	58,625	2,528	63,200	2,583	64,575	29,638	4850
4900	29,944	2,355	58,875	2,539	63,475	2,593	64,825	29,944	4900
4950	30,249	2,364	59,100	2,549	63,725	2,604	65,100	30,249	4950
5000	30,555	2,374	59,350	2,559	63,975	2,614	65,350	30,555	**5000**

Brennmaterial: Mittlere Steinkohle. **Luftzufuhr**: Das Doppelte der theoretisch erforderlichen Luftmenge. **Gewicht der Rauchgase**: Für jedes Kilogramm verbrannter Kohle 22 kg.

Nach der vereinfachten Péclet'schen Formel: $d_0 = z_3 \cdot L^{0,4}$; $h = 20 \cdot d_0$. **50—2500**

Kohlenverbrauch in der Stunde	Rauchgase in der Secunde	Schornsteinsäule quadratisch		achteckig		rund		Rauchgase in der Secunde	Kohlenverbrauch in der Stunde
		lichte Weite	Höhe	lichte Weite	Höhe	lichte Weite	Höhe		
B	L	d_0	h	d_0	h	d_0	h	L	B
kg	kg	m	m	m	m	m	m	kg	kg
50	0,3056	0,396	7,920	0,427	8,540	0,436	8,720	0,3056	50
100	0,6111	0,522	10,440	0,563	11,260	0,575	11,500	0,6111	100
150	0,9167	0,614	12,280	0,662	13,240	0,677	13,540	0,9167	150
200	1,2222	0,689	13,780	0,743	14,860	0,759	15,180	1,2222	200
250	1,5278	0,754	15,080	0,812	16,240	0,830	16,600	1,5278	250
300	1,8333	0,810	16,200	0,874	17,480	0,893	17,860	1,8333	300
350	2,1389	0,862	17,240	0,929	18,580	0,949	18,980	2,1389	350
400	2,4444	0,909	18,180	0,980	19,600	1,002	20,040	2,4444	400
450	2,7500	0,953	19,060	1,028	20,560	1,050	21,000	2,7500	450
500	3,0555	0,994	19,880	1,072	21,440	1,095	21,900	3,0555	**500**
550	3,3611	1,033	20,660	1,114	22,280	1,138	22,760	3,3611	550
600	3,6666	1,069	21,380	1,153	23,060	1,178	23,560	3,6666	600
650	3,9722	1,104	22,080	1,191	23,820	1,216	24,320	3,9722	650
700	4,2777	1,137	22,740	1,226	24,520	1,253	25,060	4,2777	700
750	4,5833	1,169	23,380	1,261	25,220	1,288	25,760	4,5833	750
800	4,8888	1,200	24,000	1,294	25,880	1,322	26,440	4,8888	800
850	5,1944	1,229	24,580	1,325	26,500	1,354	27,080	5,1944	850
900	5,4999	1,258	25,160	1,356	27,120	1,385	27,700	5,4999	900
950	5,8055	1,285	25,700	1,386	27,720	1,416	28,320	5,8055	950
1000	6,1110	1,312	26,240	1,414	28,280	1,445	28,900	6,1110	**1000**
1050	6,4166	1,338	26,760	1,442	28,840	1,473	29,460	6,4166	1050
1100	6,7221	1,363	27,260	1,469	29,380	1,501	30,020	6,7221	1100
1150	7,0277	1,387	27,740	1,496	29,920	1,528	30,560	7,0277	1150
1200	7,3332	1,411	28,220	1,521	30,420	1,554	31,080	7,3332	1200
1250	7,6388	1,434	28,680	1,546	30,920	1,580	31,600	7,6388	1250
1300	7,9443	1,457	29,140	1,571	31,420	1,605	32,100	7,9443	1300
1350	8,2499	1,479	29,580	1,595	31,900	1,629	32,580	8,2499	1350
1400	8,5554	1,501	30,020	1,618	32,360	1,653	33,060	8,5554	1400
1450	8,8610	1,522	30,440	1,641	32,820	1,676	33,520	8,8610	1450
1500	9,1665	1,543	30,860	1,663	33,260	1,699	33,980	9,1665	**1500**
1550	9,4721	1,563	31,260	1,685	33,700	1,722	34,440	9,4721	1550
1600	9,7776	1,583	31,660	1,707	34,140	1,744	34,880	9,7776	1600
1650	10,083	1,603	32,060	1,728	34,560	1,765	35,300	10,083	1650
1700	10,389	1,622	32,440	1,749	34,980	1,787	35,740	10,389	1700
1750	10,694	1,641	32,820	1,769	35,380	1,807	36,140	10,694	1750
1800	11,000	1,660	33,200	1,789	35,780	1,828	36,560	11,000	1800
1850	11,305	1,678	33,560	1,809	36,180	1,848	36,960	11,305	1850
1900	11,611	1,696	33,920	1,828	36,560	1,868	37,360	11,611	1900
1950	11,916	1,714	34,280	1,848	36,960	1,887	37,740	11,916	1950
2000	12,222	1,731	34,620	1,866	37,320	1,907	38,140	12,222	**2000**
2050	12,528	1,748	34,960	1,885	37,700	1,926	38,520	12,528	2050
2100	12,833	1,765	35,300	1,903	38,060	1,944	38,880	12,833	2100
2150	13,139	1,782	35,640	1,921	38,420	1,963	39,260	13,139	2150
2200	13,444	1,798	35,960	1,939	38,780	1,981	39,620	13,444	2200
2250	13,750	1,815	36,300	1,956	39,120	1,999	39,980	13,750	2250
2300	14,055	1,831	36,620	1,974	39,480	2,016	40,320	14,055	2300
2350	14,361	1,846	36,920	1,991	39,820	2,034	40,680	14,361	2350
2400	14,666	1,862	37,240	2,008	40,160	2,051	41,020	14,666	2400
2450	14,972	1,877	37,540	2,024	40,480	2,068	41,360	14,972	2450
2500	15,278	1,893	37,860	2,041	40,820	2,085	41,700	15,278	**2500**

Brennmaterial: Mittlere Steinkohle. Luftzufuhr: Das Doppelte der theoretisch erforderlichen Luftmenge. Gewicht der Rauchgase: Für jedes Kilogramm verbrannter Kohle 22 kg,

Nach der vereinfachten Péclet'schen Formel: $d_0 = z_s \cdot L^{0,4}$; $h = 20 \cdot d_0$. **2550—5000**

Kohlenverbrauch in der Stunde B kg	Rauchgase in der Secunde L kg	Schornsteinsäule quadratisch lichte Weite d_0 m	quadratisch Höhe h m	achteckig lichte Weite d_0 m	achteckig Höhe h m	rund lichte Weite d_0 m	rund Höhe h m	Rauchgase in der Secunde L kg	Kohlenverbrauch in der Stunde B kg
2550	15,583	1,908	38,160	2,057	41,140	2,101	42,020	15,583	2550
2600	15,889	1,923	38,460	2,073	41,460	2,118	42,360	15,889	2600
2650	16,194	1,937	38,740	2,089	41,780	2,134	42,680	16,194	2650
2700	16,500	1,952	39,040	2,104	42,080	2,150	43,000	16,500	2700
2750	16,805	1,966	39,320	2,120	42,400	2,166	43,320	16,805	2750
2800	17,111	1,980	39,600	2,135	42,700	2,181	43,620	17,111	2800
2850	17,416	1,994	39,880	2,150	43,030	2,197	43,940	17,416	2850
2900	17,722	2,008	40,160	2,165	43,300	2,212	44,240	17,722	2900
2950	18,027	2,022	40,440	2,180	43,600	2,227	44,540	18,027	2950
3000	18,333	2,036	40,720	2,195	43,900	2,242	44,840	18,333	**3000**
3050	18,639	2,049	40,980	2,210	44,200	2,257	45,140	18,639	3050
3100	18,944	2,063	41,260	2,224	44,480	2,272	45,440	18,944	3100
3150	19,250	2,076	41,520	2,238	44,760	2,287	45,740	19,250	3150
3200	19,555	2,089	41,780	2,252	45,040	2,301	46,020	19,555	3200
3250	19,861	2,102	42,040	2,266	45,320	2,315	46,300	19,861	3250
3300	20,166	2,115	42,300	2,280	45,600	2,329	46,580	20,166	3300
3350	20,472	2,128	42,560	2,294	45,880	2,343	46,860	20,472	3350
3400	20,777	2,140	42,800	2,308	46,160	2,357	47,140	20,777	3400
3450	21,083	2,153	43,060	2,321	46,420	2,371	47,420	21,083	3450
3500	21,389	2,165	43,300	2,335	46,700	2,385	47,700	21,389	**3500**
3550	21,694	2,178	43,560	2,348	46,960	2,399	47,980	21,694	3550
3600	22,000	2,190	43,800	2,361	47,220	2,412	48,240	22,000	3600
3650	22,305	2,202	44,040	2,374	47,480	2,425	48,500	22,305	3650
3700	22,611	2,214	44,280	2,387	47,740	2,439	48,780	22,611	3700
3750	22,916	2,226	44,520	2,400	48,000	2,452	49,040	22,916	3750
3800	23,222	2,238	44,760	2,413	48,260	2,465	49,300	23,222	3800
3850	23,527	2,249	44,980	2,425	48,500	2,478	49,560	23,527	3850
3900	23,833	2,261	45,220	2,438	48,760	2,490	49,800	23,833	3900
3950	24,138	2,273	45,460	2,450	49,000	2,503	50,060	24,138	3950
4000	24,444	2,284	45,680	2,463	49,260	2,516	50,320	24,444	**4000**
4050	24,750	2,296	45,920	2,475	49,500	2,528	50,560	24,750	4050
4100	25,055	2,307	46,140	2,487	49,740	2,541	50,820	25,055	4100
4150	25,361	2,318	46,360	2,499	49,980	2,553	51,060	25,361	4150
4200	25,666	2,329	46,580	2,511	50,220	2,565	51,300	25,666	4200
4250	25,972	2,340	46,800	2,523	50,460	2,578	51,560	25,972	4250
4300	26,277	2,351	47,020	2,535	50,700	2,590	51,800	26,277	4300
4350	26,583	2,362	47,240	2,547	50,940	2,602	52,040	26,583	4350
4400	26,888	2,373	47,460	2,558	51,160	2,614	52,280	26,888	4400
4450	27,194	2,384	47,680	2,570	51,400	2,625	52,500	27,194	4450
4500	27,500	2,394	47,880	2,581	51,620	2,637	52,740	27,500	**4500**
4550	27,805	2,405	48,100	2,593	51,860	2,649	52,980	27,805	4550
4600	28,111	2,416	48,320	2,604	52,080	2,660	53,200	28,111	4600
4650	28,416	2,426	48,520	2,616	52,320	2,672	53,440	28,416	4650
4700	28,722	2,436	48,720	2,627	52,540	2,683	53,660	28,722	4700
4750	29,027	2,447	48,940	2,638	52,760	2,695	53,900	29,027	4750
4800	29,333	2,457	49,140	2,649	52,980	2,706	54,120	29,333	4800
4850	29,638	2,467	49,340	2,660	53,200	2,717	54,340	29,638	4850
4900	29,944	2,477	49,540	2,671	53,420	2,729	54,580	29,944	4900
4950	30,249	2,487	49,740	2,682	53,640	2,740	54,800	30,249	4950
5000	30,555	2,497	49,940	2,693	53,860	2,751	55,020	30,555	**5000**

Brennmaterial: Mittlere Steinkohle. Luftzufuhr: Das Doppelte der theoretisch erforderlichen Luftmenge. Gewicht der Rauchgase: Für jedes Kilogramm verbrannter Kohle 22 kg.

Nach der v. Reiche'schen Formel: $d_0 = k \cdot B^{0,1}$; $h = 0{,}00277 \left(\frac{B}{f_r}\right)^3 + 6 \cdot d_0$.

Kohlenverbrauch in der Stunde B	Kohlenverbrauchstündlich auf 1 qm Rostfläche $\left(\frac{B}{f_r}\right)$	Runde Schornsteinsäule $k = 0{,}09$ (ohne Reserve) lichte Weite d_0	Höhe h	$k = 0{,}10$ (mit Reserve) lichte Weite d_0	Höhe h	Kohlenverbrauch in der Stunde B	Kohlenverbrauchstündlich auf 1 qm Rostfläche $\left(\frac{B}{f_r}\right)$	Runde Schornsteinsäule $k = 0{,}09$ (ohne Reserve) lichte Weite d_0	Höhe h	$k = 1{,}00$ (mit Reserve) lichte Weite d_0	Höhe h
kg	kg/qm	m	m	m	m	kg	kg/qm	m	m	m	m
50	70	0,430	16,153	0,478	16,441	2550	120	2,074	52,332	2,305	53,718
100	70	0,568	16,981	0,631	17,359	2600	120	2,090	52,428	2,323	53,826
150	80	0,668	21,736	0,742	22,180	2650	120	2,106	52,524	2,340	53,928
200	80	0,749	22,222	0,833	22,726	2700	120	2,122	52,620	2,358	54,036
250	90	0,819	27,351	0,910	27,897	2750	120	2,138	52,716	2,375	54,138
300	90	0,881	27,723	0,979	28,311	2800	120	2,153	52,806	2,393	54,246
350	90	0,937	28,059	1,041	28,683	2850	120	2,169	52,902	2,410	54,348
400	90	0,989	28,371	1,099	29,031	2900	120	2,184	52,992	2,426	54,444
450	90	1,036	28,653	1,152	29,349	2950	120	2,199	53,082	2,443	54,546
500	100	1,081	34,186	1,202	34,906	**3000**	120	2,214	53,172	2,460	54,648
550	100	1,123	34,438	1,248	35,188	3050	120	2,228	53,256	2,476	54,744
600	100	1,163	34,678	1,292	35,452	3100	120	2,243	53,346	2,492	54,840
650	100	1,201	34,906	1,334	35,704	3150	120	2,257	53,430	2,508	54,936
700	100	1,237	35,122	1,374	35,944	3200	120	2,271	53,514	2,524	55,032
750	100	1,271	35,326	1,413	36,178	3250	120	2,286	53,604	2,540	55,128
800	100	1,305	35,530	1,450	36,400	3300	120	2,300	53,688	2,555	55,218
850	100	1,337	35,722	1,485	36,610	3350	120	2,313	53,766	2,571	55,314
900	100	1,368	35,908	1,519	36,814	3400	120	2,327	53,850	2,586	55,404
950	100	1,397	36,082	1,553	37,018	3450	120	2,341	53,934	2,601	55,494
1000	100	1,426	36,256	1,585	37,210	**3500**	120	2,354	54,012	2,616	55,584
1050	100	1,455	36,430	1,616	37,396	3550	120	2,368	54,096	2,631	55,674
1100	100	1,482	36,592	1,646	37,576	3600	120	2,381	54,174	2,646	55,764
1150	100	1,508	36,748	1,676	37,756	3650	120	2,394	54,252	2,660	55,848
1200	100	1,534	36,904	1,705	37,930	3700	120	2,407	54,330	2,675	55,938
1250	105	1,560	39,899	1,733	40,937	3750	120	2,420	54,408	2,689	56,022
1300	105	1,584	40,043	1,760	41,099	3800	120	2,433	54,486	2,703	56,106
1350	105	1,608	40,187	1,787	41,261	3850	120	2,446	54,564	2,718	56,196
1400	105	1,632	40,331	1,813	41,417	3900	120	2,458	54,636	2,732	56,280
1450	105	1,655	40,469	1,839	41,573	3950	120	2,471	54,714	2,746	56,364
1500	105	1,678	40,607	1,864	41,723	**4000**	120	2,484	54,792	2,759	56,442
1550	110	1,700	43,717	1,889	44,851	4050	120	2,496	54,864	2,773	56,526
1600	110	1,721	43,843	1,913	44,995	4100	120	2,508	54,936	2,787	56,610
1650	110	1,743	43,975	1,936	45,133	4150	120	2,520	55,008	2,800	56,688
1700	110	1,764	44,101	1,960	45,277	4200	120	2,532	55,080	2,814	56,772
1750	110	1,784	44,221	1,983	45,415	4250	120	2,544	55,152	2,827	56,850
1800	110	1,804	44,341	2,005	45,547	4300	120	2,556	55,224	2,840	56,928
1850	110	1,824	44,461	2,027	45,679	4350	120	2,568	55,296	2,854	57,012
1900	115	1,844	47,697	2,049	48,927	4400	120	2,580	55,368	2,867	57,090
1950	115	1,863	47,811	2,070	49,053	4450	120	2,592	55,440	2,880	57,168
2000	115	1,882	47,925	2,091	49,179	**4500**	120	2,603	55,506	2,893	57,246
2050	115	1,901	48,039	2,112	49,305	4550	120	2,615	55,578	2,905	57,318
2100	115	1,919	48,147	2,132	49,425	4600	120	2,626	55,644	2,918	57,396
2150	115	1,937	48,255	2,153	49,551	4650	120	2,638	55,716	2,931	57,474
2200	115	1,955	48,363	2,173	49,671	4700	120	2,649	55,782	2,943	57,546
2250	115	1,973	48,471	2,192	49,785	4750	120	2,660	55,848	2,956	57,624
2300	120	1,990	51,828	2,212	53,160	4800	120	2,671	55,914	2,968	57,696
2350	120	2,008	51,936	2,231	53,274	4850	120	2,682	55,980	2,981	57,774
2400	120	2,025	52,038	2,249	53,382	4900	120	2,694	56,052	2,993	57,846
2450	120	2,041	52,134	2,268	53,496	4950	120	2,704	56,112	3,005	57,918
2500	120	2,058	52,236	2,287	53,610	**5000**	120	2,715	56,178	3,017	57,990

Brennmaterial: Mittlere Steinkohle.

$D_0 = 1{,}000$ m.

$k = 0{,}050$ m auf 1 m; $w = 200$ kg auf 1 qm; $m = 1{,}6$; $\frac{1}{m} = 0{,}625$; $\frac{2}{3}$.

1	2	3	4	5	6	7	8
Höhe H	Aeusserer Durchmesser $D = D_0 + k \cdot H$	Winddruck $W = \frac{D + D_0}{2} \cdot H \cdot w$	Gewicht des Mauerwerkes $G = \frac{2}{3} \cdot w \cdot \left(\frac{D+2 \cdot D_0}{D - D_0}\right) \cdot H^2$	Querschnitt des Mauerwerkes $F = \frac{2}{D \cdot \gamma} \cdot \left(W - \frac{k}{2} \cdot G\right)$ 1 cbm Mauerwerk wiegt:			Höhe H
				1600 kg	1800 kg	2000 kg	
m	m	kg	kg	qm	qm	qm	m
0	1,000	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	**0**
1	1,050	137					1
2	1,100	280	501	0,3040	0,2702	0,2432	2
3	1,150	430					3
4	1,200	587	1896	0,5621	0,4997	0,4497	4
5	1,250	750					5
6	1,300	920	4062	0,7870	0,6995	0,6296	6
7	1,350	1097					7
8	1,400	1280	6908	0,9887	0,8788	0,7909	8
9	1,450	1470					9
10	1,500	1667	10370	1,1731	1,0428	0,9385	**10**
11	1,550	1870					11
12	1,600	2080	14400	1,3438	1,1945	1,0750	12
13	1,650	2297					13
14	1,700	2520	18959	1,5044	1,3373	1,2035	14
15	1,750	2750					15
16	1,800	2987	24020	1,6573	1,4732	1,3258	16
17	1,850	3230					17
18	1,900	3480	29558	1,8033	1,6030	1,4427	18
19	1,950	3737					19
20	2,000	4000	35556	1,9444	1,7285	1,5556	**20**
21	2,050	4270					21
22	2,100	4547	41998	2,0816	1,8504	1,6653	22
23	2,150	4830					23
24	2,200	5120	48873	2,2149	1,9689	1,7719	24
25	2,250	5417					25
26	2,300	5720	56170	2,3455	2,0850	1,8764	26
27	2,350	6030					27
28	2,400	6347	63881	2,4739	2,1991	1,9791	28
29	2,450	6670					29
30	2,500	7000	72000	2,6000	2,3113	2,0800	**30**

$D_0 = 1{,}100$ m.

$k = 0{,}050$ m auf 1 m; $w = 200$ kg auf 1 qm; $m = 1{,}6$; $\frac{1}{m} = 0{,}625$; $\varsigma = \frac{2}{3}$.

1	2	3	4	5	6	7	8
Höhe H	Aeusserer Durchmesser $D = D_0 + k \cdot H$	Winddruck $W = \frac{D+D_0}{2} \cdot H \cdot w$	Gewicht des Mauerwerkes $G = \frac{w}{3} \cdot \left(\frac{D+2 \cdot D_0}{D}\right) \cdot H^2$	Querschnitt des Mauerwerkes $F = \frac{2}{D \cdot \gamma} \cdot \left(W - \frac{k}{2} \cdot G\right)$ 1 cbm Mauerwerk wiegt: 1600 kg	1800 kg	2000 kg	Höhe H
m	m	kg	kg	qm	qm	qm	m
0	1,100	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	**0**
1	1,150	150					1
2	1,200	307	503	0,3067	0,2727	0,2454	2
3	1,250	470					3
4	1,300	640.	1915	0,5694	0,5061	0,4555	4
5	1,350	817					5
6	1,400	1000	4114	0,8010	0,7120	0,6408	6
7	1,450	1190					7
8	1,500	1387	7016	1,0097	0,8975	0,8077	8
9	1,550	1590					9
10	1,600	1800	10556	1,2001	1,0668	0,9601	**10**
11	1,650	2017					11
12	1,700	2240	14682	1,3772	1,2242	1,1017	12
13	1,750	2470					13
14	1,800	2707	19358	1,5438	1,3723	1,2350	14
15	1,850	2950					15
16	1,900	3200	24552	1,7014	1,5125	1,3612	16
17	1,950	3457					17
18	2,000	3720	30240	1,8525	1,6467	1,4820	18
19	2,050	3990					19
20	2,100	4267	36721	1,9934	1,7720	1,5947	**20**
21	2,150	4550					21
22	2,200	4840	43022	2,1389	1,9013	1,7111	22
23	2,250	5137					23
24	2,300	5440	50087	2,2760	2,0232	1,8208	24
25	2,350	5750					25
26	2,400	6067	57585	2,4101	2,1424	1,9281	26
27	2,450	6390					27
28	2,500	6720	65539	2,5408	2,2586	2,0326	28
29	2,550	7057					29
30	2,600	7400	73846	2,6701	2,3735	2,1360	**30**

$D_0 = 1{,}200$ m.

$k = 0{,}050$ m auf 1 m; $w = 200$ kg auf 1 qm; $m = 1{,}6$; $\frac{1}{m} = 0{,}625$; $\zeta = \frac{2}{3}$.

1	2	3	4	5	6	7	8
Höhe H	Aeusserer Durchmesser $D = D_0 + k \cdot H$	Winddruck $W = \frac{D + D_0}{2} \cdot H \cdot w$	Gewicht des Mauerwerkes $G = \zeta \cdot w \cdot \left(\frac{D + 2 \cdot D_0}{D}\right) \cdot \frac{H^2}{3}$	Querschnitt des Mauerwerkes $F = \frac{2}{D \cdot \gamma} \cdot \left(W - \frac{k}{2} \cdot G\right)$ 1 cbm Mauerwerk wiegt: 1600 kg	1800 kg	2000 kg	Höhe H
m	m	kg	kg	qm	qm	qm	m
0	1,200	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	**0**
1	1,250	163					1
2	1,300	333	506	0,3083	0,2740	0,2466	2
3	1,350	510					3
4	1,400	693	1930	0,5760	0,5120	0,4608	4
5	1,450	883					5
6	1,500	1080	4160	0,8133	0,7230	0,6507	6
7	1,550	1283					7
8	1,600	1493	7111	1,0278	0,9136	0,8222	8
9	1,650	1710					9
10	1,700	1933	10719	1,2245	1,0885	0,9796	**10**
11	1,750	2163					11
12	1,800	2400	14933	1,4074	1,2511	1,1259	12
13	1,850	2643					13
14	1,900	2893	19715	1,5792	1,4039	1,2634	14
15	1,950	3150					15
16	2,000	3413	25031	1,7422	1,5487	1,3938	16
17	2,050	3683					17
18	2,100	3960	30857	1,8980	1,6872	1,5184	18
19	2,150	4243					19
20	2,200	4533	37172	2,0477	1,8203	1,6382	**20**
21	2,250	4830					21
22	2,300	5133	43957	2,1926	1,9491	1,7541	22
23	2,350	5443					23
24	2,400	5760	51200	2,3333	2,0741	1,8667	24
25	2,450	6083					25
26	2,500	6413	58887	2,4706	2,1962	1,9765	26
27	2,550	6750					27
28	2,600	7093	67009	2,6049	2,3156	2,0839	28
29	2,650	7443					29
30	2,700	7800	75556	2,7366	2,4327	2,1893	**30**

$D_0 = 1{,}300$ m.

$k = 0{,}050$ m auf 1 m; $w = 225$ kg auf 1 qm; $m = 1{,}8$; $\frac{1}{m} = 0{,}556$; $\zeta = \frac{2}{3}$.

1	2	3	4	5	6	7	8
Höhe H	Aeusserer Durchmesser $D = D_0 + k \cdot H$	Winddruck $W = \zeta \cdot w \cdot \frac{D + D_0}{2} \cdot H$	Gewicht des Mauerwerkes $G = \zeta \cdot w \cdot \left(\frac{D + 2 \cdot D_0}{3}\right) \cdot H^2$	Querschnitt des Mauerwerkes $F = \frac{2}{D \cdot \gamma} \cdot \left(W - \frac{k}{2} \cdot G\right)$ 1 cbm Mauerwerk wiegt: 1600 kg	1800 kg	2000 kg	Höhe H
m	m	kg	kg	qm	qm	qm	m
0	1,300	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	**0**
1	1,350	199					1
2	1,400	405	571	0,3489	0,3101	0,2791	2
3	1,450	619					3
4	1,500	840	2187	0,6544	0,5818	0,5236	4
5	1,550	1069					5
6	1,600	1305	4725	0,9272	0,8242	0,7418	6
7	1,650	1549					7
8	1,700	1800	8094	1,1747	1,0442	0,9398	8
9	1,750	2059					9
10	1,800	2325	12222	1,4024	1,2466	1,1219	**10**
11	1,850	2599					11
12	1,900	2880	17053	1,6143	1,4350	1,2914	12
13	1,950	3169					13
14	2,000	3465	22540	1,8134	1,6120	1,4508	14
15	2,050	3769					15
16	2,100	4080	28636	2,0024	1,7801	1,6020	16
17	2,150	4399					17
18	2,200	4725	35345	2,1826	1,9402	1,7461	18
19	2,250	5059					19
20	2,300	5400	42609	2,3559	2,0942	1,8847	**20**
21	2,350	5749					21
22	2,400	6105	50417	2,5232	2,2430	2,0186	22
23	2,450	6469					23
24	2,500	6840	58752	2,6856	2,3873	2,1485	24
25	2,550	7219					25
26	2,600	7605	67600	2,8438	2,5279	2,2750	26
27	2,650	7999					27
28	2,700	8400	76948	2,9983	2,6653	2,3986	28
29	2,750	8809					29
30	2,800	9225	86786	3,1497	2,7999	2,5198	**30**
31	2,850	9649					31
32	2,900	10080	97448	3,2947	2,9288	2,6358	32
33	2,950	10519					33
34	3,000	10965	107893	3,4449	3,0623	2,7559	34
35	3,050	11419					35
36	3,100	11880	119148	3,5892	3,1906	2,8714	36
37	3,150	12349					37
38	3,200	12825	130863	3,7318	3,3173	2,9854	38
39	3,250	13309					39
40	3,300	13800	143333	3,8700	3,4402	3,0960	**40**

$D_0 = 1{,}400$ m.

$k = 0{,}050$ m auf 1 m; $w = 225$ kg auf 1 qm; $m = 1{,}8$; $\frac{1}{m} = 0{,}556$; $\zeta = \frac{2}{3}$.

1	2	3	4	5	6	7	8
Höhe H	Aeusserer Durchmesser $D = D_0 + k \cdot H$	Winddruck $W = \frac{D + D_0}{2} \cdot H \cdot w$	Gewicht des Mauerwerkes $G = \frac{w}{3} \cdot \left(\frac{D + 2 \cdot D_0}{D}\right) \cdot H^2$	Querschnitt des Mauerwerkes $F = \frac{2}{D \cdot \gamma} \cdot \left(W - \frac{k}{2} \cdot G\right)$ 1 cbm Mauerwerk wiegt: 1600 kg	1800 kg	2000 kg	Höhe H
m	m	kg	kg	qm	qm	qm	m
0	1,400	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	**0**
1	1,450	214					1
2	1,500	435	573	0,3506	0,3117	0,2805	2
3	1,550	664					3
4	1,600	900	2200	0,6602	0,5868	0,5281	4
5	1,650	1144					5
6	1,700	1395	4765	0,9381	0,8339	0,7505	6
7	1,750	1654					7
8	1,800	1920	8178	1,1914	1,0591	0,9531	8
9	1,850	2194					9
10	1,900	2475	12368	1,4249	1,2666	1,1399	**10**
11	1,950	2764					11
12	2,000	3060	17280	1,6425	1,4601	1,3140	12
13	2,050	3364					13
14	2,100	3675	22867	1,8472	1,6421	1,4778	14
15	2,150	3994					15
16	2,200	4320	29091	2,0413	1,8146	1,6331	16
17	2,250	4654					17
18	2,300	4995	35922	2,2266	1,9793	1,7813	18
19	2,350	5344					19
20	2,400	5700	43333	2,4045	2,1375	1,9236	**20**
21	2,450	6064					21
22	2,500	6435	51304	2,5762	2,2901	2,0610	22
23	2,550	6814					23
24	2,600	7200	59815	2,7426	2,4380	2,1941	24
25	2,650	7594					25
26	2,700	7995	68852	2,9045	2,5819	2,3236	26
27	2,750	8404					27
28	2,800	8820	78400	3,0625	2,7224	2,4500	28
29	2,850	9244					29
30	2,900	9675	88276	3,2190	2,8615	2,5752	**30**
31	2,950	10114					31
32	3,000	10560	98987	3,3689	2,9947	2,6951	32
33	3,050	11014					33
34	3,100	11475	110006	3,5181	3,1274	2,8145	34
35	3,150	11944					35
36	3,200	12420	121500	3,6650	3,2580	2,9320	36
37	3,250	12904					37
38	3,300	13395	133461	3,8100	3,3869	3,0480	38
39	3,350	13894					39
40	3,400	14400	145882	3,9533	3,5142	3,1626	**40**

$D_0 = 1{,}500$ m.

k 0,040 m auf 1 m; w = 225 kg auf 1 qm; $m = 1{,}8$; $\frac{1}{m} = 0{,}556$; $\zeta = \frac{2}{3}$.

1	2	3	4	5	6	7	8
Höhe H	Aeusserer Durchmesser $D = D_0 + k \cdot H$	Winddruck $W = \frac{D + D_0}{2} \cdot H \cdot w$	Gewicht des Mauerwerkes $G = \frac{w}{3} \cdot \left(\frac{D+2 \cdot D_0}{D}\right) \cdot H^2$	Querschnitt des Mauerwerkes $F = \frac{2}{D \cdot \gamma} \cdot \left(W - \frac{k}{2} \cdot G\right)$ 1 cbm Mauerwerk wiegt: 1600 kg	1800 kg	2000 kg	Höhe H
m	m	kg	kg	qm	qm	qm	m
0	1,500	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	**0**
1	1,540	228					1
2	1,580	462	580	0,3563	0,3168	0,2851	2
3	1,620	702					3
4	1,660	948	2245	0,6808	0,6052	0,5446	4
5	1,700	1200					5
6	1,740	1458	4903	0,9770	0,8685	0,7816	6
7	1,780	1722					7
8	1,820	1992	8475	1,2517	1,1127	1,0014	8
9	1,860	2268					9
10	1,900	2550	12895	1,5080	1,3405	1,2064	**10**
11	1,940	2838					11
12	1,980	3132	18109	1,7486	1,5544	1,3989	12
13	2,020	3432					13
14	2,060	3738	24072	1,9761	1,7566	1,5809	14
15	2,100	4050					15
16	2,140	4368	30744	2,1922	1,9488	1,7538	16
17	2,180	4692					17
18	2,220	5022	38092	2,3987	2,1323	1,9190	18
19	2,260	5358					19
20	2,300	5700	46087	2,5969	2,3085	2,0775	**20**
21	2,340	6048					21
22	2,380	6402	54704	2,7878	2,4782	2,2302	22
23	2,420	6762					23
24	2,460	7128	63922	2,9723	2,6422	2,3779	24
25	2,500	7500					25
26	2,540	7878	73721	3,1514	2,8014	2,5211	26
27	2,580	8262					27
28	2,620	8652	84085	3,3255	2,9562	2,6604	28
29	2,660	9048					29
30	2,700	9450	95000	3,4954	3,1072	2,7963	**30**
31	2,740	9858					31
32	2,780	10272	106452	3,6614	3,2548	2,9291	32
33	2,820	10692					33
34	2,860	11118	118429	3,8240	3,3993	3,0592	34
35	2,900	11550					35
36	2,940	11988	130922	3,9837	3,5412	3,1869	36
37	2,980	12432					37
38	3,020	12882	143922	4,1405	3,6805	3,3124	38
39	3,060	13338					39
40	3,100	13800	157419	4,2950	3,8180	3,4360	**40**

$D_0 = 1{,}600$ m.

$k = 0{,}040$ m auf 1 m; $w = 225$ kg auf 1 qm; $m = 1{,}8$; $\frac{1}{m} = 0{,}556$; $\zeta = \frac{2}{3}$.

1	2	3	4	5	6	7	8
Höhe H	Aeusserer Durchmesser $D = D_0 + k \cdot H$	Winddruck $W = \zeta \cdot w \cdot \frac{D + D_0}{2} \cdot H$	Gewicht des Mauerwerkes $G = \zeta \cdot w \cdot \left(\frac{D + 2 \cdot D_0}{3 \cdot D}\right) \cdot H^2$	Querschnitt des Mauerwerkes $F = \frac{2}{D \cdot \gamma} \cdot \left(W - \frac{k}{2} \cdot G\right)$ 1 cbm Mauerwerk wiegt:			Höhe H
				1600 kg	1800 kg	2000 kg	
m	m	kg	kg	qm	qm	qm	m
0	1,600	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	**0**
1	1,640	243					1
2	1,680	492	581	0,3574	0,3177	0,2859	2
3	1,720	747					3
4	1,760	1008	2255	0,6839	0,6079	0,5471	4
5	1,800	1275					5
6	1,840	1548	4930	0,9846	0,8753	0,7877	6
7	1,880	1827					7
8	1,920	2112	8533	1,2639	1,1235	1,0111	8
9	1,960	2403					9
10	2,000	2700	13000	1,5250	1,3556	1,2200	**10**
11	2,040	3003					11
12	2,080	3312	18277	1,7707	1,5741	1,4166	12
13	2,120	3627					13
14	2,160	3948	24319	2,0033	1,7808	1,6026	14
15	2,200	4275					15
16	2,240	4608	31086	2,2245	1,9774	1,7796	16
17	2,280	4947					17
18	2,320	5292	38545	2,4359	2,1654	1,9488	18
19	2,360	5643					19
20	2,400	6000	46667	2,6389	2,3458	2,1111	**20**
21	2,440	6363					21
22	2,480	6732	55426	2,8344	2,5196	2,2675	22
23	2,520	7107					23
24	2,560	7488	64800	3,0234	2,6877	2,4188	24
25	2,600	7875					25
26	2,640	8268	74770	3,2067	2,8506	2,5654	26
27	2,680	8667					27
28	2,720	9072	85318	3,3849	3,0090	2,7080	28
29	2,760	9483					29
30	2,800	9900	96429	3,5587	3,1634	2,8469	**30**
31	2,840	10323					31
32	2,880	10752	108089	3,7284	3,3143	2,9827	32
33	2,920	11187					33
34	2,960	11628	120286	3,8945	3,4620	3,1156	34
35	3,000	12075					35
36	3,040	12528	133011	4,0575	3,6069	3,2460	36
37	3,080	12987					37
38	3,120	13452	146251	4,2175	3,7491	3,3740	38
39	3,160	13923					39
40	3,200	14400	160000	4,3750	3,8891	3,5000	**40**

$D_0 = 1{,}700$ m.

$k = 0{,}040$ m auf 1 m; $w = 250$ kg auf 1 qm; $m = 2$; $\frac{1}{m} = 0{,}5$; $\zeta = \frac{2}{3}$.

1	2	3	4	5	6	7	8
Höhe H	Aeusserer Durchmesser D $D_0 + k \cdot H$	Winddruck $W = \zeta \cdot w \cdot \frac{D + D_0}{2} \cdot H$	Gewicht des Mauerwerkes $G = \zeta \cdot w \left(\frac{D + 2 \cdot D_0}{D}\right) \cdot H^2$	Querschnitt des Mauerwerkes $F = \frac{2}{D \cdot \gamma} \cdot \left(W - \frac{k}{2} \cdot G\right)$ 1 cbm Mauerwerk wiegt: 1600 kg	1800 kg	2000 kg	Höhe H
m	m	kg	kg	qm	qm	qm	m
0	1,700	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	**0**
1	1,740	287					1
2	1,780	580	647	0,3982	0,3540	0,3186	2
3	1,820	880					3
4	1,860	1187	2514	0,7637	0,6789	0,6110	4
5	1,900	1500					5
6	1,940	1820	5505	1,1017	0,9794	0,8814	6
7	1,980	2147					7
8	2,020	2480	9540	1,4166	1,2593	1,1333	8
9	2,060	2820					9
10	2,100	3167	14550	1,7117	1,5216	1,3694	**10**
11	2,140	3520					11

50	200	2500	165,68	2071,05	157,08	1963,50	**50**	7,0711	69897	20,0000

□ / ○	Quadrat		Achteck		Kreis		□ / ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4 \cdot n$	n^2	$3{,}31368 \cdot n$	$0{,}82842 \cdot n^2$	$\pi \cdot n$	$\pi \cdot n^2 : 4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000 : n$
1	4	1	3,3137	0,82842	3,1416	0,78540	1	1,0000	00000	1000,00
2	8	4	6,6274	3,31368	6,2832	3,14159	2	1,4142	30103	500,000
3	12	9	9,9410	7,45578	9,4248	7,06858	3	1,7321	47712	333,333
4	16	16	13,255	13,2547	12,566	12,5664	4	2,0000	60206	250,000
5	20	25	16,568	20,7105	15,708	19,6350	5	2,2361	69897	200,000
6	24	36	19,882	29,8231	18,850	28,2743	6	2,4495	77815	166,667
7	28	49	23,196	40,5926	21,991	38,4845	7	2,6458	84510	142,857
8	32	64	26,509	53,0189	25,133	50,2655	8	2,8284	90309	125,000
9	36	81	29,823	67,1020	28,274	63,6173	9	3,0000	95424	111,111
10	40	100	33,137	82,8420	31,416	78,5398	**10**	3,1623	00000	100,000
11	44	121	36,450	100,239	34,558	95,0332	11	3,3166	04139	90,9091
12	48	144	39,764	119,292	37,699	113,097	12	3,4641	07918	83,3333
13	52	169	43,078	140,003	40,841	132,732	13	3,6056	11394	76,9231
14	56	196	46,392	162,370	43,982	153,938	14	3,7417	14613	71,4286
15	60	225	49,705	186,395	47,124	176,715	15	3,8730	17609	66,6667
16	64	256	53,019	212,076	50,265	201,062	16	4,0000	20412	62,5000
17	68	289	56,333	239,413	53,407	226,980	17	4,1231	23045	58,8235
18	72	324	59,646	268,408	56,549	254,469	18	4,2426	25527	55,5556
19	76	361	62,960	299,060	59,690	283,529	19	4,3589	27875	52,6316
20	80	400	66,274	331,368	62,832	314,159	**20**	4,4721	30103	50,0000
21	84	441	69,587	365,333	65,973	346,361	21	4,5826	32222	47,6190
22	88	484	72,901	400,955	69,115	380,133	22	4,6904	34242	45,4545
23	92	529	76,215	438,234	72,257	415,476	23	4,7958	36173	43,4783
24	96	576	79,528	477,170	75,398	452,389	24	4,8990	38021	41,6667
25	100	625	82,842	517,763	78,540	490,874	25	5,0000	39794	40,0000
26	104	676	86,156	560,012	81,681	530,929	26	5,0990	41497	38,4615
27	108	729	89,469	603,918	84,823	572,555	27	5,1962	43136	37,0370
28	112	784	92,783	649,481	87,965	615,752	28	5,2915	44716	35,7143
29	116	841	96,097	696,701	91,106	660,520	29	5,3852	46240	34,4828
30	120	900	99,410	745,578	94,248	706,858	**30**	5,4772	47712	33,3333
31	124	961	102,72	796,112	97,389	754,768	31	5,5678	49136	32,2581
32	128	1024	106,04	848,302	100,53	804,248	32	5,6569	50515	31,2500
33	132	1089	109,35	902,149	103,67	855,299	33	5,7446	51851	30,3030
34	136	1156	112,67	957,654	106,81	907,920	34	5,8310	53148	29,4118
35	140	1225	115,98	1014,81	109,96	962,113	35	5,9161	54407	28,5714
36	144	1296	119,29	1073,63	113,10	1017,88	36	6,0000	55630	27,7778
37	148	1369	122,61	1134,11	116,24	1075,21	37	6,0828	56820	27,0270
38	152	1444	125,92	1196,24	119,38	1134,11	38	6,1644	57978	26,3158
39	156	1521	129,23	1260,03	122,52	1194,59	39	6,2450	59106	25,6410
40	160	1600	132,55	1325,47	125,66	1256,64	**40**	6,3246	60206	25,0000
41	164	1681	135,86	1392,57	128,81	1320,25	41	6,4031	61278	24,3902
42	168	1764	139,17	1461,33	131,95	1385,44	42	6,4807	62325	23,8095
43	172	1849	142,49	1531,75	135,09	1452,20	43	6,5574	63347	23,2558
44	176	1936	145,80	1603,82	138,23	1520,53	44	6,6332	64345	22,7273
45	180	2025	149,12	1677,55	141,37	1590,43	45	6,7082	65321	22,2222
46	184	2116	152,43	1752,94	144,51	1661,90	46	6,7823	66276	21,7391
47	188	2209	155,74	1829,98	147,65	1734,94	47	6,8557	67210	21,2766
48	192	2304	159,06	1908,68	150,80	1809,56	48	6,9282	68124	20,8333
49	196	2401	162,37	1989,04	153,94	1885,74	49	7,0000	69020	20,4082
50	200	2500	165,68	2071,05	157,08	1963,50	**50**	7,0711	69897	20,0000

	Quadrat		Achteck		Kreis					
○	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	○			
n	$4 . n$	n^2	$3{,}31368 . n$	$0{,}82842 . n^2$	$\pi . n$	$\pi . n^2 : 4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000 : n$
51	204	2601	169,00	2154,72	160,22	2042,82	51	7,1414	70757	19,6078
52	208	2704	172,31	2240,05	163,36	2123,72	52	7,2111	71600	19,2308
53	212	2809	175,63	2327,03	166,50	2206,18	53	7,2801	72428	18,8679
54	216	2916	178,94	2415,67	169,65	2290,22	54	7,3485	73239	18,5185
55	220	3025	182,25	2505,97	172,79	2375,83	55	7,4162	74036	18,1818
56	224	3136	185,57	2597,93	175,93	2463,01	56	7,4833	74819	17,8571
57	228	3249	188,88	2691,54	179,07	2551,76	57	7,5498	75587	17,5439
58	232	3364	192,19	2786,80	182,21	2642,08	58	7,6158	76343	17,2414
59	236	3481	195,51	2883,73	185,35	2733,97	59	7,6811	77085	16,9492
60	240	3600	198,82	2982,31	188,50	2827,43	**60**	7,7460	77815	16,6667
61	244	3721	202,13	3082,55	191,64	2922,47	61	7,8102	78533	16,3934
62	248	3844	205,45	3184,45	194,78	3019,07	62	7,8740	79239	16,1290
63	252	3969	208,76	3288,00	197,92	3117,25	63	7,9373	79934	15,8730
64	256	4096	212,08	3393,21	201,06	3216,99	64	8,0000	80618	15,6250
65	260	4225	215,39	3500,07	204,20	3318,31	65	8,0623	81291	15,3846
66	264	4356	218,70	3608,60	207,35	3421,19	66	8,1240	81954	15,1515
67	268	4489	222,02	3718,78	210,49	3525,65	67	8,1854	82607	14,9254
68	272	4624	225,33	3830,61	213,63	3631,68	68	8,2462	83251	14,7059
69	276	4761	228,64	3944,11	216,77	3739,28	69	8,3066	83885	14,4928
70	280	4900	231,96	4059,26	219,91	3848,45	**70**	8,3666	84510	14,2857
71	284	5041	235,27	4176,07	223,05	3959,19	71	8,4261	85126	14,0845
72	288	5184	238,58	4294,53	226,19	4071,50	72	8,4853	85733	13,8889
73	292	5329	241,90	4414,65	229,34	4185,39	73	8,5440	86332	13,6986
74	296	5476	245,21	4536,43	232,48	4300,84	74	8,6023	86923	13,5135
75	300	5625	248,53	4659,86	235,62	4417,86	75	8,6603	87506	13,3333
76	304	5776	251,84	4784,95	238,76	4536,46	76	8,7178	88081	13,1579
77	308	5929	255,15	4911,70	241,90	4656,63	77	8,7750	88649	12,9870
78	312	6084	258,47	5040,11	245,04	4778,36	78	8,8318	89209	12,8205
79	316	6241	261,78	5170,17	248,19	4901,67	79	8,8882	89763	12,6582
80	320	6400	265,09	5301,89	251,33	5026,55	**80**	8,9443	90309	12,5000
81	324	6561	268,41	5435,26	254,47	5153,00	81	9,0000	90849	12,3457
82	328	6724	271,72	5570,30	257,61	5281,02	82	9,0554	91381	12,1951
83	332	6889	275,04	5706,99	260,75	5410,61	83	9,1104	91908	12,0482
84	336	7056	278,35	5845,33	263,89	5541,77	84	9,1652	92428	11,9048
85	340	7225	281,66	5985,33	267,04	5674,50	85	9,2195	92942	11,7647
86	344	7396	284,98	6126,99	270,18	5808,80	86	9,2736	93450	11,6279
87	348	7569	288,29	6270,31	273,32	5944,68	87	9,3274	93952	11,4943
88	352	7744	291,60	6415,28	276,46	6082,12	88	9,3808	94448	11,3636
89	356	7921	294,92	6561,91	279,60	6221,14	89	9,4340	94939	11,2360
90	360	8100	298,23	6710,20	282,74	6361,73	**90**	9,4868	95424	11,1111
91	364	8281	301,54	6860,15	285,88	6503,88	91	9,5394	95904	10,9890
92	368	8464	304,86	7011,75	289,03	6647,61	92	9,5917	96379	10,8696
93	372	8649	308,17	7165,00	292,17	6792,91	93	9,6437	96848	10,7527
94	376	8836	311,49	7319,92	295,31	6939,78	94	9,6954	97313	10,6383
95	380	9025	314,80	7476,49	298,45	7088,22	95	9,7468	97772	10,5263
96	384	9216	318,11	7634,72	301,59	7238,23	96	9,7980	98227	10,4167
97	388	9409	321,43	7794,60	304,73	7389,81	97	9,8489	98677	10,3093
98	392	9604	324,74	7956,15	307,88	7542,96	98	9,8995	99123	10,2041
99	396	9801	328,05	8119,34	311,02	7697,69	99	9,9499	99564	10,1010
100	400	10000	331,37	8284,20	314,16	7853,98	**100**	10,0000	00000	10,0000

○	Quadrat		Achteck		Kreis		○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4 . n$	n^2	$3{,}31368 . n$	$0{,}82842 . n^2$	$\pi . n$	$\pi . n^2 : 4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000 : n$
101	404	10201	334,68	8450,71	317,30	8011,85	101	10,0499	00432	9,90099
102	408	10404	338,00	8618,88	320,44	8171,28	102	10,0995	00860	9,80392
103	412	10609	341,31	8788,71	323,58	8332,29	103	10,1489	01284	9,70874
104	416	10816	344,62	8960,19	326,73	8494,87	104	10,1980	01703	9,61538
105	420	11025	347,94	9133,33	329,87	8659,01	105	10,2470	02119	9,52381
106	424	11236	351,25	9308,13	333,01	8824,73	106	10,2956	02531	9,43396
107	428	11449	354,56	9484,58	336,15	8992,02	107	10,3441	02938	9,34579
108	432	11664	357,88	9662,69	339,29	9160,88	108	10,3923	03342	9,25926
109	436	11881	361,19	9842,46	342,43	9331,32	109	10,4403	03743	9,17431
110	440	12100	364,50	10023,9	345,58	9503,32	**110**	10,4881	04139	9,09091
111	444	12321	367,82	10207,0	348,72	9676,89	111	10,5357	04532	9,00901
112	448	12544	371,13	10391,7	351,86	9852,03	112	10,5830	04922	8,92857
113	452	12769	374,45	10578,1	355,00	10028,7	113	10,6301	05308	8,84956
114	456	12996	377,76	10766,1	358,14	10207,0	114	10,6771	05690	8,77193
115	460	13225	381,07	10955,9	361,28	10386,9	115	10,7238	06070	8,69565
116	464	13456	384,39	11147,2	364,42	10568,3	116	10,7703	06446	8,62069
117	468	13689	387,70	11340,2	367,57	10751,3	117	10,8167	06819	8,54701
118	472	13924	391,01	11534,9	370,71	10935,9	118	10,8628	07188	8,47458
119	476	14161	394,33	11731,3	373,85	11122,0	119	10,9087	07555	8,40336
120	480	14400	397,64	11929,2	376,99	11309,7	**120**	10,9545	07918	8,33333
121	484	14641	400,96	12128,9	380,13	11499,0	121	11,0000	08279	8,26446
122	488	14884	404,27	12330,2	383,27	11689,9	122	11,0454	08636	8,19672
123	492	15129	407,58	12533,2	386,42	11882,3	123	11,0905	08991	8,13008
124	496	15376	410,90	12737,8	389,56	12076,3	124	11,1355	09342	8,06452
125	500	15625	414,21	12944,1	392,70	12271,8	125	11,1803	09691	8,00000
126	504	15876	417,52	13152,0	395,84	12469,0	126	11,2250	10037	7,93651
127	508	16129	420,84	13361,6	398,98	12667,7	127	11,2694	10380	7,87402
128	512	16384	424,15	13572,8	402,12	12868,0	128	11,3137	10721	7,81250
129	516	16641	427,46	13785,7	405,27	13069,8	129	11,3578	11059	7,75194
130	520	16900	430,78	14000,3	408,41	13273,2	**130**	11,4018	11394	7,69231
131	524	17161	434,09	14216,5	411,55	13478,2	131	11,4455	11727	7,63359
132	528	17424	437,41	14434,4	414,69	13684,8	132	11,4891	12057	7,57576
133	532	17689	440,72	14653,9	417,83	13892,9	133	11,5326	12385	7,51880
134	536	17956	444,03	14875,1	420,97	14102,6	134	11,5758	12710	7,46269
135	540	18225	447,35	15098,0	424,12	14313,9	135	11,6190	13033	7,40741
136	544	18496	450,66	15322,5	427,26	14526,7	136	11,6619	13354	7,35294
137	548	18769	453,97	15548,6	430,40	14741,1	137	11,7047	13672	7,29927
138	552	19044	457,29	15776,4	433,54	14957,1	138	11,7473	13988	7,24638
139	556	19321	460,60	16005,9	436,68	15174,7	139	11,7898	14301	7,19424
140	560	19600	463,92	16237,0	439,82	15393,8	**140**	11,8322	14613	7,14286
141	564	19881	467,23	16469,8	442,96	15614,5	141	11,8743	14922	7,09220
142	568	20164	470,54	16704,3	446,11	15836,8	142	11,9164	15229	7,04225
143	572	20449	473,86	16940,4	449,25	16060,6	143	11,9583	15534	6,99301
144	576	20736	477,17	17178,1	452,39	16286,0	144	12,0000	15836	6,94444
145	580	21025	480,48	17417,5	455,53	16513,0	145	12,0416	16137	6,89655
146	584	21316	483,80	17658,6	458,67	16741,5	146	12,0830	16435	6,84932
147	588	21609	487,11	17901,3	461,81	16971,7	147	12,1244	16732	6,80272
148	592	21904	490,42	18145,7	464,96	17203,4	148	12,1655	17026	6,75676
149	596	22201	493,74	18391,8	468,10	17436,6	149	12,2066	17319	6,71141
150	600	22500	597,05	18639,5	471,24	17671,5	**150**	12,2474	17609	6,66667

⌒ ○	Quadrat		Achteck		Kreis		⌒ ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4.n$	n^2	$3{,}31368.n$	$0{,}82842.n^2$	$\pi.n$	$\pi.n^2:4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000:n$
151	604	22801	500,37	18888,8	474,38	17907,9	151	12,2882	17898	6,62252
152	608	23104	503,68	19139,8	477,52	18145,8	152	12,3288	18184	6,57895
153	612	23409	506,99	19392,5	480,66	18385,4	153	12,3693	18469	6,53595
154	616	23716	510,31	19646,8	483,81	18626,5	154	12,4097	18752	6,49351
155	620	24025	513,62	19902,8	486,95	18869,2	155	12,4499	19033	6,45161
156	624	24336	516,93	20160,4	490,09	19113,4	156	12,4900	19312	6,41026
157	628	24649	520,25	20419,7	493,23	19359,3	157	12,5300	19590	6,36943
158	632	24964	523,56	20680,7	496,37	19606,7	158	12,5698	19866	6,32911
159	636	25281	526,88	20943,3	499,51	19855,7	159	12,6095	20140	6,28931
160	640	25600	530,19	21207,6	502,65	20106,2	**160**	12,6491	20412	6,25000
161	644	25921	533,50	21473,5	505,80	20358,3	161	12,6886	20683	6,21118
162	648	26244	536,82	21741,1	508,94	20612,0	162	12,7279	20952	6,17284
163	652	26569	540,13	22010,3	512,08	20867,2	163	12,7671	21219	6,13497
164	656	26896	543,44	22281,2	515,22	21124,1	164	12,8062	21484	6,09756
165	660	27225	546,76	22553,7	518,36	21382,5	165	12,8452	21748	6,06061
166	664	27556	550,07	22827,9	521,50	21642,4	166	12,8841	22011	6,02410
167	668	27889	553,38	23103,8	524,65	21904,0	167	12,9228	22272	5,98802
168	672	28224	556,70	23381,3	527,79	22167,1	168	12,9615	22531	5,95238
169	676	28561	560,01	23660,5	530,93	22431,8	169	13,0000	22789	5,91716
170	680	28900	563,33	23941,3	534,07	22698,0	**170**	13,0384	23045	5,88235
171	684	29241	566,64	24223,8	537,21	22965,8	171	13,0767	23300	5,84795
172	688	29584	569,95	24508,0	540,35	23235,2	172	13,1149	23553	5,81395
173	692	29929	573,27	24793,8	543,50	23506,2	173	13,1529	23805	5,78035
174	696	30276	576,58	25081,2	546,64	23778,7	174	13,1909	24055	5,74713
175	700	30625	579,89	25370,4	549,78	24052,8	175	13,2288	24304	5,71429
176	704	30976	583,21	25661,1	552,92	24328,5	176	13,2665	24551	5,68182
177	708	31329	586,52	25953,6	556,06	24605,7	177	13,3041	24797	5,64972
178	712	31684	589,84	26247,7	559,20	24884,6	178	13,3417	25042	5,61798
179	716	32041	593,15	26543,4	562,35	25164,9	179	13,3791	25285	5,58659
180	720	32400	596,46	26840,8	565,49	25446 9	**180**	13,4164	25527	5,55556
181	724	32761	599,78	27139,9	568,63	25730,4	181	13,4536	25768	5,52486
182	728	33124	603,09	27440,6	571,77	26015,5	182	13,4907	26007	5,49451
183	732	33489	606,40	27743 0	574,91	26302,2	183	13,5277	26245	5,46448
184	736	33856	609,72	28047,0	578,05	26590,4	184	13,5647	26482	5,43478
185	740	34225	613,03	28352,7	581,19	26880,3	185	13,6015	26717	5,40541
186	744	34596	616,34	28660,0	584,34	27171,6	186	13,6382	26951	5,37634
187	748	34969	619,66	28969 0	587,48	27464,6	187	13,6748	27184	5,34759
188	752	35344	622,97	29279,7	590,62	27759,1	188	13,7113	27416	5,31915
189	756	35721	626,29	29592,0	593,76	28055,2	189	13,7477	27646	5,29101
190	760	36100	629,60	29906,0	596,90	28352,9	**190**	13,7840	27875	5,26316
191	764	36481	632,91	30221,6	600,04	28652,1	191	13,8203	28103	5,23560
192	768	36864	636,23	30538,9	603,19	28952,9	192	13,8564	28330	5,20833
193	772	37249	639,54	30857,8	606,33	29255,3	193	13,8924	28556	5,18135
194	776	37636	642,85	31178,4	609,47	29559,2	194	13,9284	28780	5,15464
195	780	38025	646,17	31500,7	612,61	29864,8	195	13,9642	29003	5,12821
196	784	38416	649,48	31824,6	615,75	30171,9	196	14,0000	29226	5,10204
197	788	38809	652,79	32150,2	618,89	30480,5	197	14,0357	29447	5,07614
198	792	39204	656,11	32477,4	622,04	30790,7	198	14,0712	29667	5,05051
199	796	39601	659,42	32806,3	625,18	31102,6	199	14,1067	29885	5,02513
200	800	40000	662,74	33136,8	628,32	31415,9	**200**	14,1421	30103	5,00000

□ ○	Quadrat		Achteck		Kreis		□ ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4 . n$	n^2	$3{,}31368 . n$	$0{,}82842 . n^2$	$\pi . n$	$\pi . n^2 : 4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000 : n$
201	804	40401	666,05	33469,0	631,46	31730,9	201	14,1774	30320	4,97512
202	808	40804	669,36	33802,8	634,60	32047,4	202	14,2127	30535	4,95050
203	812	41209	672,68	34138,4	637,74	32365,5	203	14,2478	30750	4,92611
204	816	41616	675,99	34475,5	640,88	32685,1	204	14,2829	30963	4,90196
205	820	42025	679,30	34814,4	644,03	33006,4	205	14,3178	31175	4,87805
206	824	42436	682,62	35154,8	647,17	33329,2	206	14,3527	31387	4,85437
207	828	42849	685,93	35497,0	650,31	33653,5	207	14,3875	31597	4,83092
208	832	43264	689,25	35840,8	653,45	33979,5	208	14,4222	31806	4,80769
209	836	43681	692,56	36186,2	656,59	34307,0	209	14,4568	32015	4,78469
210	840	44100	695,87	36533,3	659,73	34636,1	**210**	14,4914	32222	4,76190
211	844	44521	699,19	36882,1	662,88	34966,7	211	14,5258	32428	4,73934
212	848	44944	702,50	37232,5	666,02	35298,9	212	14,5602	32634	4,71698
213	852	45369	705,81	37584,6	669,16	35632,7	213	14,5945	32838	4,69484
214	856	45796	709,13	37938,3	672,30	35968,1	214	14,6287	33041	4,67290
215	860	46225	712,44	38293,7	675,44	36305,0	215	14,6629	33244	4,65116
216	864	46656	715,75	38650,8	678,58	36643,5	216	14,6969	33445	4,62963
217	868	47089	719,07	39009,5	681,73	36983,6	217	14,7309	33646	4,60829
218	872	47524	722,38	39369,8	684,87	37325,3	218	14,7648	33846	4,58716
219	876	47961	725,70	39731,9	688,01	37668,5	219	14,7986	34044	4,56621
220	880	48400	729,01	40095,5	691,15	38013,3	**220**	14,8324	34242	4,54545
221	884	48841	732,32	40460,9	694,29	38359,6	221	14,8661	34439	4,52489
222	888	49284	735,64	40827,9	697,43	38707,6	222	14,8997	34635	4,50450
223	892	49729	738,95	41196,5	700,58	39057,1	223	14,9332	34830	4,48431
224	896	50176	742,26	41566,8	703,72	39408,1	224	14,9666	35025	4,46429
225	900	50625	745,58	41938,8	706,86	39760,8	225	15,0000	35218	4,44444
226	904	51076	748,89	42312,4	710,00	40115,0	226	15,0333	35411	4,42478
227	908	51529	752,21	42687,7	713,14	40470,8	227	15,0665	35603	4,40529
228	912	51984	755,52	43064,6	716,28	40828,1	228	15,0997	35793	4,38596
229	916	52441	758,83	43443,2	719,42	41187,1	229	15,1327	35984	4,36681
230	920	52900	762,15	43823,4	722,57	41547,6	**230**	15,1658	36173	4,34783
231	924	53361	765,46	44205,3	725,71	41909,6	231	15,1987	36361	4,32900
232	928	53824	768,77	44588,9	728,85	42273,3	232	15,2315	36549	4,31034
233	932	54289	772,09	44974,1	731,99	42638,5	233	15,2643	36736	4,29185
234	936	54756	775,40	45361,0	735,13	43005,3	234	15,2971	36922	4,27350
235	940	55225	778,71	45749,5	738,27	43373,6	235	15,3297	37107	4,25532
236	944	55696	782,03	46139,7	741,42	43743,5	236	15,3623	37291	4,23729
237	948	56169	785,34	46531,5	744,56	44115,0	237	15,3948	37475	4,21941
238	952	56644	788,66	46925,0	747,70	44488,1	238	15,4272	37658	4,20168
239	956	57121	791,97	47320,2	750,84	44862,7	239	15,4596	37840	4,18410
240	960	57600	795,28	47717,0	753,98	45238,9	**240**	15,4919	38021	4,16667
241	964	58081	798,60	48115,5	757,12	45616,7	241	15,5242	38202	4,14938
242	968	58564	801,91	48515,6	760,27	45996,1	242	15,5563	38382	4,13223
243	972	59049	805,22	48917,4	763,41	46377,0	243	15,5885	38561	4,11523
244	976	59536	808,54	49320,8	766,55	46759,5	244	15,6205	38739	4,09836
245	980	60025	811,85	49725,9	769,69	47143,5	245	15,6525	38917	4,08163
246	984	60516	815,17	50132,7	772,83	47529,2	246	15,6844	39094	4,06504
247	988	61009	818,48	50541,1	775,97	47916,4	247	15,7162	39270	4,04858
248	992	61504	821,79	50951,1	779,11	48305,1	248	15,7480	39445	4,03226
249	996	62001	825,11	51362,9	782,26	48695,5	249	15,7797	39620	4,01606
250	1000	62500	828,42	51776,3	785,40	49087,4	**250**	15,8114	39794	4,00000

□ ○	Quadrat		Achteck		Kreis		□ ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4.n$	n^2	$3{,}31368.n$	$0{,}82842.n^2$	$\pi.n$	$\pi.n^2:4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000:n$
251	1004	63001	831,73	52191,3	788,54	49480,9	251	15,8430	39967	3,98406
252	1008	63504	835,05	52608,0	791,68	49875,9	252	15,8745	40140	3,96825
253	1012	64009	838,36	53026,3	794,82	50272,6	253	15,9060	40312	3,95257
254	1016	64516	841,67	53446,3	797,96	50670,7	254	15,9374	40483	3,93701
255	1020	65025	844,99	53868,0	801,11	51070,5	255	15,9687	40654	3,92157
256	1024	65536	848,30	54291,3	804,25	51471,9	256	16,0000	40824	3,90625
257	1028	66049	851,62	54716,3	807,39	51874,8	257	16,0312	40993	3,89105
258	1032	66564	854,93	55142,9	810,53	52279,2	258	16,0624	41162	3,87597
259	1036	67081	858,24	55571,2	813,67	52685,3	259	16,0935	41330	3,86100
260	1040	67600	861,56	56001,2	816,81	53092,9	**260**	16,1245	41497	3,84615
261	1044	68121	864,87	56432,8	819,96	53502,1	261	16,1555	41664	3,83142
262	1048	68644	868,18	56866,1	823,10	53912,9	262	16,1864	41830	3,81679
263	1052	69169	871,50	57301,0	826,24	54325,2	263	16,2173	41996	3,80228
264	1056	69696	874,81	57737,6	829,38	54739,1	264	16,2481	42160	3,78788
265	1060	70225	878,13	58175,8	832,52	55154,6	265	16,2788	42325	3,77358
266	1064	70756	881,44	58615,7	835,66	55571,6	266	16,3095	42488	3,75940
267	1068	71289	884,75	59057,2	838,81	55990,2	267	16,3401	42651	3,74532
268	1072	71824	888,07	59500,4	841,95	56410,4	268	16,3707	42813	3,73134
269	1076	72361	891,38	59945,3	845,09	56832,2	269	16,4012	42975	3,71747
270	1080	72900	894,69	60391,8	848,23	57255,5	**270**	16,4317	43136	3,70370
271	1084	73441	898,01	60840,0	851,37	57680,4	271	16,4621	43297	3,69004
272	1088	73984	901,32	61289,8	854,51	58106,9	272	16,4924	43457	3,67647
273	1092	74529	904,63	61741,3	857,65	58534,9	273	16,5227	43616	3,66300
274	1096	75076	907,95	62194,5	860,80	58964,6	274	16,5529	43775	3,64964
275	1100	75625	911,26	62649,3	863,94	59395,7	275	16,5831	43933	3,63636
276	1104	76176	914,58	63105,7	867,08	59828,5	276	16,6132	44091	3,62319
277	1108	76729	917,89	63563,8	870,22	60262,8	277	16,6433	44248	3,61011
278	1112	77284	921,20	64023,6	873,36	60698,7	278	16,6733	44404	3,59712
279	1116	77841	924,52	64485,0	876,50	61136,2	279	16,7033	44560	3,58423
280	1120	78400	927,83	64948,1	879,65	61575,2	**280**	16,7332	44716	3,57143
281	1124	78961	931,14	65412,9	882,79	62015,8	281	16,7631	44871	3,55872
282	1128	79524	934,46	65879,3	885,93	62458,0	282	16,7929	45025	3,54610
283	1132	80089	937,77	66347,3	889,07	62901,8	283	16,8226	45179	3,53357
284	1136	80656	941,09	66817,0	892,21	63347,1	284	16,8523	45332	3,52113
285	1140	81225	944,40	67288,4	895,35	63794,0	285	16,8819	45484	3,50877
286	1144	81796	947,71	67761,4	898,50	64242,4	286	16,9115	45637	3,49650
287	1148	82369	951,03	68236,1	901,64	64692,5	287	16,9411	45788	3,48432
288	1152	82944	954,34	68712,5	904,78	65144,1	288	16,9706	45939	3,47222
289	1156	83521	957,65	69190,5	907,92	65597,2	289	17,0000	46090	3,46021
290	1160	84100	960,97	69670,1	911,06	66052,0	**290**	1702,94	46240	3,44828
291	1164	84681	964,28	70151,4	914,20	66508,3	291	17,0587	46389	3,43643
292	1168	85264	967,59	70634,4	917,35	66966,2	292	17,0880	46538	3,42466
293	1172	85849	970,91	71119,0	920,49	67425,6	293	17,1172	86687	3,41297
294	1176	86436	974,22	71605,3	923,63	67886,7	294	17,1464	46835	3,40136
295	1180	87025	977,54	72093,3	926,77	68349,3	295	17,1756	46982	3,38983
296	1184	87616	980,85	72582,8	929,91	68813,4	296	17,2047	47129	3,37838
297	1188	88209	984,16	73074,1	933,05	69279,2	297	17,2337	47276	3,36700
298	1192	88804	987,48	73567,0	936,19	69746,5	298	17,2627	47422	3,35570
299	1196	89401	990,79	74061,6	939,34	70215,4	299	17,2916	47567	3,34448
300	1200	90000	994,10	74557,8	942,48	70685,8	**300**	17,3205	47712	3,33333

□ ○	Quadrat		Achteck		Kreis		□ ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4 \cdot n$	n^2	$3{,}31368 \cdot n$	$0{,}82842 \cdot n^2$	$\pi \cdot n$	$\pi \cdot n^2 : 4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000 : n$
301	1204	90601	997,42	75055,7	945,62	71157,9	301	17,3494	47857	3,32226
302	1208	91204	1000,7	75555,2	948,76	71631,5	302	17,3781	48001	3,31126
303	1212	91809	1004,0	76056,4	951,90	72106,6	303	17,4069	48144	3,30033
304	1216	92416	1007,4	76559,3	955,04	72583,4	304	17,4356	48287	3,28947
305	1220	93025	1010,7	77063,8	958,19	73061,7	305	17,4642	48430	3,27869
306	1224	93636	1014,0	77569,9	961,33	73541,5	306	17,4929	48572	3,26797
307	1228	94249	1017,3	78077,8	964,47	74023,0	307	17,5214	48714	3,25733
308	1232	94864	1020,6	78587,2	967,61	74506,0	308	17,5499	48855	3,24675
309	1236	95481	1023,9	79098,4	970,75	74990,6	309	17,5784	48996	3,23625
310	1240	96100	1027,2	79611,2	973,89	75476,8	**310**	17,6068	49136	3,22581
311	1244	96721	1030,6	80125,6	977,04	75964,5	311	17,6352	49276	3,21543
312	1248	97344	1033,9	80641,7	980,18	76453,8	312	17,6635	49415	3,20513
313	1252	97969	1037,2	81159,5	983,32	76944,7	313	17,6918	49554	3,19489
314	1256	98596	1040,5	81678,9	986,46	77437,1	314	17,7200	49693	3,18471
315	1260	99225	1043,8	82200,0	989,60	77931,1	315	17,7482	49831	3,17460
316	1264	99856	1047,1	82722,7	992,74	78426,7	316	17,7764	49969	3,16456
317	1268	100489	1050,4	83247,1	995,88	78923,9	317	17,8045	50106	3,15457
318	1272	101124	1053,8	83773,1	999,03	79422,6	318	17,8326	50243	3,14465
319	1276	101761	1057,1	84300,8	1002,2	79922,9	319	17,8606	50379	3,13480
320	1280	102400	1060,4	84830,2	1005,3	80424,8	**320**	17,8885	50515	3,12500
321	1284	103041	1063,7	85361,2	1008,5	80928,2	321	17,9165	50651	3,11527
322	1288	103684	1067,0	85893,9	1011,6	81433,2	322	17,9444	50786	3,10559
323	1292	104329	1070,3	86428,2	1014,7	81939,8	323	17,9722	50920	3,09598
324	1296	104976	1073,6	86964,2	1017,9	82448,0	324	18,0000	51055	3,08642
325	1300	105625	1076,9	87501,9	1021,0	82957,7	325	18,0278	51188	3,07692
326	1304	106276	1080,3	88041,2	1024,2	83469,0	326	18,0555	51322	3,06749
327	1308	106929	1083,6	88582,1	1027,3	83981,8	327	18,0831	51455	3,05810
328	1312	107584	1086,9	89124,7	1030,4	84496,3	328	18,1108	51587	3,04878
329	1316	108241	1090,2	89669,0	1033,6	85012,3	329	18,1384	51720	3,03951
330	1320	108900	1093,5	90214,9	1036,7	85529,9	**330**	18,1659	51851	3,03030
331	1324	109561	1096,8	90762,5	1039,9	86049,0	331	18,1934	51983	3,02115
332	1328	110224	1100,1	91311,8	1043,0	86569,7	332	18,2209	52114	3,01205
333	1332	110889	1103,5	91862,7	1046,2	87092,0	333	18,2483	52244	3,00300
334	1336	111556	1106,8	92415,2	1049,3	87615,9	334	18,2757	52375	2,99401
335	1340	112225	1110,1	92969,4	1052,4	88141,3	335	18,3030	52504	2,98507
336	1344	112896	1113,4	93525,3	1055,6	88668,3	336	18,3303	52634	2,97619
337	1348	113569	1116,7	94082,8	1058,7	89196,9	337	18,3576	52763	2,96736
338	1352	114244	1120,0	94642,0	1061,9	89727,0	338	18,3848	52892	2,95858
339	1356	114921	1123,3	95202,9	1065,0	90258,7	339	18,4120	53020	2,94985
340	1360	115600	1126,7	95765,4	1068,1	90792,0	**340**	18,4391	53148	2,94118
341	1364	116281	1130,0	96329,5	1071,3	91326,9	341	18,4662	53275	2,93255
342	1368	116964	1133,3	96895,3	1074,4	91863,3	342	18,4932	53403	2,92398
343	1372	117649	1136,6	97462,8	1077,6	92401,3	343	18,5203	53529	2,91545
344	1376	118336	1139,9	98031,9	1080,7	92940,9	344	18,5472	53656	2,90698
345	1380	119025	1143,2	98602,7	1083,8	93482,0	345	18,5742	53782	2,89855
346	1384	119716	1146,5	99175,1	1087,0	94024,7	346	18,6011	53908	2,89017
347	1388	120409	1149,8	99749,2	1090,1	94569,0	347	18,6279	54033	2,88184
348	1392	121104	1153,2	100325	1093,3	95114,9	348	18,6548	54158	2,87356
349	1396	121801	1156,5	100902	1096,4	95662,3	349	18,6815	54283	2,86533
350	1400	122500	1159,8	101481	1099,6	96211,3	**350**	18,7083	54407	2,85714

□ ○	Quadrat		Achteck		Kreis		□ ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4 . n$	n^2	$3{,}31368 . n$	$0{,}82842 . n^2$	$\pi . n$	$\pi . n^2 : 4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000 : n$
351	1404	123201	1163,1	102062	1102,7	96761,8	351	18,7350	54531	2,84900
352	1408	123904	1166,4	102645	1105,8	97314,0	352	18,7617	54654	2,84091
353	1412	124609	1169,7	103229	1109,0	97867,7	353	18,7883	54777	2,83286
354	1416	125316	1173,0	103814	1112,1	98423,0	354	18,8149	54900	2,82486
355	1420	126025	1176,4	104402	1115,3	98979,8	355	18,8414	55023	2,81690
356	1424	126736	1179,7	104991	1118,4	99538,2	356	18,8680	55145	2,80899
357	1428	127449	1183,0	105581	1121,5	100098	357	18,8944	55267	2,80112
358	1432	128164	1186,3	106174	1124,7	100660	358	18,9209	55388	2,79330
359	1436	128881	1189,6	106768	1127,8	101223	359	18,9473	55509	2,78552
360	1440	129600	1192,9	107363	1131,0	101788	**360**	18,9737	55630	2,77778
361	1444	130321	1196,2	107961	1134,1	102354	361	19,0000	55751	2,77008
362	1448	131044	1199,6	108559	1137,3	102922	362	19,0263	55871	2,76243
363	1452	131769	1202,9	109160	1140,4	103491	363	19,0526	55991	2,75482
364	1456	132496	1206,2	109762	1143,5	104062	364	19,0788	56110	2,74725
365	1460	133225	1209,5	110366	1146,7	104635	365	19,1050	56229	2,73973
366	1464	133956	1212,8	110972	1149,8	105209	366	19,1311	56348	2,73224
367	1468	134689	1216,1	111579	1153,0	105784	367	19,1572	56467	2,72480
368	1472	135424	1219,4	112188	1156,1	106362	368	19,1833	56585	2,71739
369	1476	136161	1222,7	112798	1159,2	106941	369	19,2094	56703	2,71003
370	1480	136900	1226,1	113411	1162,4	107521	**370**	19,2354	56820	2,70270
371	1484	137641	1229,4	114025	1165,5	108103	371	19,2614	56937	2,69542
372	1488	138384	1232,7	114640	1168,7	108687	372	19,2873	57054	2,68817
373	1492	139129	1236,0	115257	1171,8	109272	373	19,3132	57171	2,68097
374	1496	139876	1239,3	115876	1175,0	109858	374	19,3391	57287	2,67380
375	1500	140625	1242,6	116497	1178,1	110447	375	19,3649	57403	2,66667
376	1504	141376	1245,9	117119	1181,2	111036	376	19,3907	57519	2,65957
377	1508	142129	1249,3	117743	1184,4	111628	377	19,4165	57634	2,65252
378	1512	142884	1252,6	118368	1187,5	112221	378	19,4422	57749	2,64550
379	1516	143641	1255,9	118995	1190,7	112815	379	19,4679	57864	2,63852
380	1520	144400	1259,2	119624	1193,8	113411	**380**	19,4936	57978	2,63158
381	1524	145161	1262,5	120254	1196,9	114009	381	19,5192	58093	2,62467
382	1528	145924	1265,8	120886	1200,1	114608	382	19,5448	58206	2,61780
383	1532	146689	1269,1	121520	1203,2	115209	383	19,5704	58320	2,61097
384	1536	147456	1272,5	122155	1206,4	115812	384	19,5959	58433	2,60417
385	1540	148225	1275,8	122793	1209,5	116416	385	19,6214	58546	2,59740
386	1544	148996	1279,1	123431	1212,7	117021	386	19,6469	58659	2,59067
387	1548	149769	1282,4	124072	1215,8	117628	387	19,6723	58771	2,58398
388	1552	150544	1285,7	124714	1218,9	118237	388	19,6977	58883	2,57732
389	1556	151321	1289,0	125357	1222,1	118847	389	19,7231	58995	2,57069
390	1560	152100	1292,3	126003	1225,2	119459	**390**	19,7484	59106	2,56410
391	1564	152881	1295,6	126650	1228,4	120072	391	19,7737	59218	2,55755
392	1568	153664	1299,0	127298	1231,5	120687	392	19,7990	59329	2,55102
393	1572	154449	1302,3	127949	1234,6	121304	393	19,8242	59439	2,54453
394	1576	155236	1305,6	128601	1237,8	121922	394	19,8494	59550	2,53807
395	1580	156025	1308,9	129254	1240,9	122542	395	19,8746	59660	2,53165
396	1584	156816	1312,2	129910	1244,1	123163	396	19,8997	59770	2,52525
397	1588	157609	1315,5	130566	1247,2	123786	397	19,9249	59879	2,51889
398	1592	158404	1318,8	131225	1250,4	124410	398	19,9499	59988	2,51256
399	1596	159201	1322,2	131885	1253,5	125036	399	19,9750	60097	2,50627
400	1600	160000	1325,5	132547	1256,6	125664	**400**	20,0000	60206	2,50000

□ ○	Quadrat		Achteck		Kreis		□ ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4.n$	n^2	$3{,}31368.n$	$0{,}82842.n^2$	$\pi.n$	$\pi.n^2:4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000:n$
401	1604	160801	1328,8	133211	1259,8	126293	401	20,0250	60314	2,49377
402	1608	161604	1332,1	133876	1262,9	126923	402	20,0499	60423	2,48756
403	1612	162409	1335,4	134543	1266,1	127556	403	20,0749	60531	2,48139
404	1616	163216	1338,7	135211	1269,2	128190	404	20,0998	60638	2,47525
405	1620	164025	1342,0	135882	1272,3	128825	405	20,1246	60746	2,46914
406	1624	164836	1345,4	136553	1275,5	129462	406	20,1494	60853	2,46305
407	1628	165649	1348,7	137227	1278,6	130100	407	20,1742	60959	2,45700
408	1632	166464	1352,0	137902	1281,8	130741	408	20,1990	61066	2,45098
409	1636	167281	1355,3	138579	1284,9	131382	409	20,2237	61172	2,44499
410	1640	168100	1358,6	139257	1288,1	132025	**410**	20,2485	61278	2,43902
411	1644	168921	1361,9	139938	1291,2	132670	411	20,2731	61384	2,43309
412	1648	169744	1365,2	140619	1294,3	133317	412	20,2978	61490	2,42718
413	1652	170569	1368,5	141303	1297,5	133965	413	20,3224	61595	2,42131
414	1656	171396	1371,9	141988	1300,6	134614	414	20,3470	61700	2,41546
415	1660	172225	1375,2	142675	1303,8	135265	415	20,3715	61805	2,40964
416	1664	173056	1378,5	143363	1306,9	135918	416	20,3961	61909	2,40385
417	1668	173889	1381,8	144053	1310,0	136572	417	20,4206	62014	2,39808
418	1672	174724	1385,1	144745	1313,2	137228	418	20,4450	62118	2,39234
419	1676	175561	1388,4	145438	1316,3	137885	419	20,4695	62221	2,38664
420	1680	176400	1391,7	146133	1319,5	138544	**420**	20,4939	62325	2,38095
421	1684	177241	1395,1	146830	1322,6	139205	421	20,5183	62428	2,37530
422	1688	178084	1398,4	147528	1325,8	139867	422	20,5426	62531	2,36967
423	1692	178929	1401,7	148228	1328,9	140531	423	20,5670	62634	2,36407
424	1696	179776	1405,0	148930	1332,0	141196	424	20,5913	62737	2,35849
425	1700	180625	1408,3	149633	1335,2	141863	425	20,6155	62839	2,35294
426	1704	181476	1411,6	150338	1338,3	142531	426	20,6398	62941	2,34742
427	1708	182329	1414,9	151045	1341,5	143201	427	20,6640	63043	2,34192
428	1712	183184	1418,3	151753	1344,6	143872	428	20,6882	63144	2,33645
429	1716	184041	1421,6	152463	1347,7	144545	429	20,7123	63246	2,33100
430	1720	184900	1424,9	153175	1350,9	145220	**430**	20,7364	63347	2,32558
431	1724	185761	1428,2	153888	1354,0	145896	431	20,7605	63448	2,32019
432	1728	186624	1431,5	154603	1357,2	146574	432	20,7846	63548	2,31482
433	1732	187489	1434,8	155320	1360,3	147254	433	20,8087	63649	2,30947
434	1736	188356	1438,1	156038	1363,5	147934	434	20,8327	63749	2,30415
435	1740	189225	1441,5	156758	1366,6	148617	435	20,8567	63849	2,29885
436	1744	190096	1444,8	157479	1369,7	149301	436	20,8806	63949	2,29358
437	1748	190969	1448,1	158203	1372,9	149987	437	20,9045	64048	2,28833
438	1752	191844	1451,4	158927	1376,0	150674	438	20,9284	64147	2,28311
439	1756	192721	1454,7	159654	1379,2	151363	439	20,9523	64246	2,27790
440	1760	193600	1458,0	160382	1382,3	152053	**440**	20,9762	64345	2,27273
441	1764	194481	1461,3	161112	1385,4	152745	441	21,0000	64444	2,26757
442	1768	195364	1464,6	161843	1388,6	153439	442	21,0238	64542	2,26244
443	1772	196249	1468,0	162577	1391,7	154134	443	21,0476	64640	2,25734
444	1776	197136	1471,3	163311	1394,9	154830	444	21,0713	64738	2,25225
445	1780	198025	1474,6	164048	1398,0	155528	445	21,0950	64836	2,24719
446	1784	198916	1477,9	164786	1401,2	156228	446	21,1187	64933	2,24215
447	1788	199809	1481,2	165526	1404,3	156930	447	21,1424	65031	2,23714
448	1792	200704	1484,5	166267	1407,4	157633	448	21,1660	65128	2,23214
449	1796	201601	1487,8	167010	1410,6	158337	449	21,1896	65225	2,22717
450	1800	202500	1491,2	167755	1413,7	159043	**450**	21,2132	65321	2,22222

□ ○	Quadrat		Achteck		Kreis		□ ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4.n$	n^2	$3{,}31368.n$	$0{,}82842.n^2$	$\pi.n$	$\pi.n^2:4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000:n$
451	1804	203401	1494,5	168501	1416,9	159751	451	21,2368	65418	2,21730
452	1808	204304	1497,8	169250	1420,0	160460	452	21,2603	65514	2,21239
453	1812	205209	1501,1	169999	1423,1	161171	453	21,2838	65610	2,20751
454	1816	206116	1504,4	170751	1426,3	161883	454	21,3073	65706	2,20264
455	1820	207025	1507,7	171504	1429,4	162597	455	21,3307	65801	2,19780
456	1824	207936	1511,0	172258	1432,6	163313	456	21,3542	65896	2,19298
457	1828	208849	1514,4	173015	1435,7	164030	457	21,3776	65992	2,18818
458	1832	209764	1517,7	173773	1438,9	164748	458	21,4009	66087	2,18341
459	1836	210681	1521,0	174532	1442,0	165468	459	21,4243	66181	2,17865
460	1840	211600	1524,3	175294	1445,1	166190	**460**	21,4476	66276	2,17391
461	1844	212521	1527,6	176057	1448,3	166914	461	21,4709	66370	2,16920
462	1848	213444	1530,9	176821	1451,4	167639	462	21,4942	66464	2,16450
463	1852	214369	1534,2	177588	1454,6	168365	463	21,5174	66558	2,15983
464	1856	215296	1537,5	178356	1457,7	169093	464	21,5407	66652	2,15517
465	1860	216225	1540,9	179125	1460,8	169823	465	21,5639	66745	2,15054
466	1864	217156	1544,2	179896	1461,0	170554	466	21,5870	66839	2,14592
467	1868	218089	1547,5	180669	1467,1	171287	467	21,6102	66932	2,14133
468	1872	219024	1550,8	181444	1470,3	172021	468	21,6333	67025	2,13675
469	1876	219961	1554,1	182220	1473,4	172757	469	21,6564	67117	2,13220
470	1880	220900	1557,4	182998	1476,5	173494	**470**	21,6795	67210	2,12766
471	1884	221841	1560,7	183778	1479,7	174234	471	21,7025	67302	2,12314
472	1888	222784	1564,1	184559	1482,8	174974	472	21,7256	67394	2,11864
473	1892	223729	1567,4	185342	1486,0	175716	473	21,7486	67486	2,11417
474	1896	224676	1570,7	186126	1489,1	176460	474	21,7715	67578	2,10971
475	1900	225625	1574,0	186912	1492,3	177205	475	21,7945	67669	2,10526
476	1904	226576	1577,3	187700	1495,4	177952	476	21,8174	67761	2,10084
477	1908	227529	1580,6	188490	1498,5	178701	477	21,8403	67852	2,09644
478	1912	228484	1583,9	189281	1501,7	179451	478	21,8632	67943	2,09205
479	1916	229441	1587,3	190074	1504,8	180203	479	21,8861	68034	2,08768
480	1920	230400	1590,6	190868	1508,0	180956	**480**	21,9089	68124	2,08333
481	1924	231361	1593,9	191664	1511,1	181711	481	21,9317	68215	2,07900
482	1928	232324	1597,2	192462	1514,2	182467	482	21,9545	68305	2,07469
483	1932	233289	1600,5	193261	1517,4	183225	483	21,9773	68395	2,07039
484	1936	234256	1603,8	194062	1520,5	183984	484	22,0000	68485	2,06612
485	1940	235225	1607,1	194865	1523,7	184745	485	22,0227	68574	2,06186
486	1944	236196	1610,4	195669	1526,8	185508	486	22,0454	68664	2,05761
487	1948	237169	1613,8	196476	1530,0	186272	487	22,0681	68753	2,05339
488	1952	238144	1617,1	197283	1533,1	187038	488	22,0907	68842	2,04918
489	1956	239121	1620,4	198093	1536,2	187805	489	22,1133	68931	2,04499
490	1960	240100	1623,7	198904	1539,4	188574	**490**	22,1359	69020	2,04082
491	1964	241081	1627,0	199716	1542,5	189345	491	22,1585	69108	2,03666
492	1968	242064	1630,3	200531	1545,7	190117	492	22,1811	69197	2,03252
493	1972	243049	1633,6	201347	1548,8	190890	493	22,2036	69285	2,02840
494	1976	244036	1637,0	202164	1551,9	191665	494	22,2261	69373	2,02429
495	1980	245025	1640,3	202984	1555,1	192442	495	22,2486	69461	2,02020
496	1984	246016	1643,6	203805	1558,2	193221	496	22,2711	69548	2,01613
497	1988	247009	1646,9	204627	1561,4	194000	497	22,2935	69636	2,01207
498	1992	248004	1650,2	205451	1564,5	194782	498	22,3159	69723	2,00803
499	1996	249001	1653,5	206277	1567,7	195565	499	22,3383	69810	2,00401
500	2000	250000	1656,8	207105	1570,8	196350	**500**	22,3607	69897	2,00000

□ ○	Quadrat		Achteck		Kreis		□ ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4 . n$	n^2	$3{,}31868 . n$	$0{,}82842 . n^2$	$\pi . n$	$\pi . n^2 : 4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000 : n$
501	2004	251001	1660,2	207934	1573,9	197136	501	22,3830	69984	1,99601
502	2008	252004	1663,5	208765	1577,1	197923	502	22,4054	70070	1,99203
503	2012	253009	1666,8	209598	1580,2	198713	503	22,4277	70157	1,98807
504	2016	254016	1670,1	210432	1583,4	199504	504	22,4499	70243	1,98413
505	2020	255025	1673,4	211268	1586,5	200296	505	22,4722	70329	1,98020
506	2024	256036	1676,7	212105	1589,6	201090	506	22,4944	70415	1,97629
507	2028	257049	1680,0	212945	1592,8	201886	507	22,5167	70501	1,97239
508	2032	258064	1683,3	213785	1595,9	202683	508	22,5389	70586	1,96850
509	2036	259081	1686,7	214628	1599,1	203482	509	22,5610	70672	1,96464
510	2040	260100	1690,0	215472	1602,2	204282	**510**	22,5832	70757	1,96078
511	2044	261121	1693,3	216318	1605,4	205084	511	22,6053	70842	1,95695
512	2048	262144	1696,6	217165	1608,5	205887	512	22,6274	70927	1,95312
513	2052	263169	1699,9	218014	1611,6	206692	513	22,6495	71012	1,94932
514	2056	264196	1703,2	218865	1614,8	207499	514	22,6716	71096	1,94553
515	2060	265225	1706,5	219718	1617,9	208307	515	22,6936	71181	1,94175
516	2064	266256	1709,9	220572	1621,1	209117	516	22,7156	71265	1,93798
517	2068	267289	1713,2	221428	1624,2	209928	517	22,7376	71349	1,93424
518	2072	268324	1716,5	222285	1627,3	210741	518	22,7596	71433	1,93050
519	2076	269361	1719,8	223144	1630,5	211556	519	22,7816	71517	1,92678
520	2080	270400	1723,1	224005	1633,6	212372	**520**	22,8035	71600	1,92308
521	2084	271441	1726,4	224867	1636,8	213189	521	22,8254	71684	1,91939
522	2088	272484	1729,7	225731	1639,9	214008	522	22,8473	71767	1,91571
523	2092	273529	1733,1	226597	1643,1	214829	523	22,8692	71850	1,91205
524	2096	274576	1736,4	227464	1646,2	215651	524	22,8910	71933	1,90840
525	2100	275625	1739,7	228333	1649,3	216475	525	22,9129	72016	1,90476
526	2104	276676	1743,0	229204	1652,5	217301	526	22,9347	72099	1,90114
527	2108	277729	1746,3	230076	1655,6	218128	527	22,9565	72181	1,89753
528	2112	278784	1749,6	230950	1658,8	218956	528	22,9783	72263	1,89394
529	2116	279841	1752,9	231826	1661,9	219787	529	23,0000	72346	1,89036
530	2120	280900	1756,3	232703	1665,0	220618	**530**	23,0217	72428	1,88679
531	2124	281961	1759,6	233582	1668,2	221452	531	23,0434	72509	1,88324
532	2128	283024	1762,9	234463	1671,3	222287	532	23,0651	72591	1,87970
533	2132	284089	1766,2	235345	1674,5	223123	533	23,0868	72673	1,87617
534	2136	285156	1769,5	236229	1677,6	223961	534	23,1084	72754	1,87266
535	2140	286225	1772,8	237115	1680,8	224801	535	23,1301	72835	1,86916
536	2144	287296	1776,1	238002	1683,9	225642	536	23,1517	72916	1,86567
537	2148	288369	1779,4	238891	1687,0	226484	537	23,1733	72997	1,86220
538	2152	289444	1782,8	239781	1690,2	227329	538	23,1948	73078	1,85874
539	2156	290521	1786,1	240673	1693,3	228175	539	23,2164	73159	1,85529
540	2160	291600	1789,4	241567	1696,5	229022	**540**	23,2379	73239	1,85185
541	2164	292681	1792,7	242463	1699,6	229871	541	23,2594	73320	1,84843
542	2168	293764	1796,0	243360	1702,7	230722	542	23,2809	73400	1,84502
543	2172	294849	1799,3	244259	1705,9	231574	543	23,3024	73480	1,84162
544	2176	295936	1802,6	245159	1709,0	232428	544	23,3238	73560	1,83824
545	2180	297025	1806,0	246061	1712,2	233283	545	23,3452	73640	1,83486
546	2184	298116	1809,3	246965	1715,3	234140	546	23,3666	73719	1,83150
547	2188	299209	1812,6	247871	1718,5	234998	547	23,3880	73799	1,82815
548	2192	300304	1815,9	248778	1721,6	235858	548	23,4094	73878	1,82482
549	2196	301401	1819,2	249687	1724,7	236720	549	23,4307	73957	1,82149
550	2200	302500	1822,5	250597	1727,9	237583	**550**	23,4521	74036	1,81818

□ ○	Quadrat		Achteck		Kreis		□ ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4 \cdot n$	n^2	$3{,}31368 \cdot n$	$0{,}82812 \cdot n^2$	$\pi \cdot n$	$\pi \cdot n^2 : 4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000 : n$
551	2204	303601	1825,8	251509	1731,0	238448	551	23.4734	74115	1,81488
552	2208	304704	1829,2	252423	1734,2	239314	552	23,4947	74194	1,81159
553	2212	305809	1832,5	253338	1737,3	240182	553	23,5160	74273	1,80832
554	2216	306916	1835,8	254255	1740,4	241051	554	23.5372	74351	1,80505
555	2220	308025	1839,1	255174	1743,6	241922	555	23.5584	74429	1,80180
556	2224	309136	1842,4	256094	1746,7	242795	556	23.5797	74507	1,79856
557	2228	310249	1845,7	257016	1749,9	243669	557	23.6008	74586	1,79533
558	2232	311364	1849,0	257940	1753,0	244545	558	23,6220	74663	1,79211
559	2236	312481	1852,3	258866	1756,2	245422	559	23,6432	74741	1,78891
560	2240	313600	1855,7	259793	1759,3	246301	**560**	23,6643	74819	1,78571
561	2244	314721	1859,0	260721	1762,4	247181	561	23,6854	74896	1,78253
562	2248	315844	1862,3	261651	1765,6	248063	562	23.7065	74974	1,77936
563	2252	316969	1865,6	262583	1768,7	248947	563	23,7276	75051	1,77620
564	2256	318096	1868,9	263517	1771,9	249832	564	23,7487	75128	1,77305
565	2260	319225	1872,2	264452	1775,0	250719	565	23,7697	75205	1,76991
566	2264	320356	1875,5	265389	1778,1	251607	566	23,7908	75282	1,76678
567	2268	321489	1878 9	266328	1781,3	252497	567	23.8118	75358	1,76367
568	2272	322624	1882,2	267268	1784,4	253388	568	23 8328	75435	1,76056
569	2276	323761	1885,5	268210	1787,6	254281	569	23,8537	75511	1,75747
570	2280	324900	1888,8	269154	1790,7	255176	**570**	23,8747	75587	1,75439
571	2284	326041	1892,1	270099	1793,9	256072	571	23,8956	75664	1,75131
572	2288	327184	1895,4	271046	1797,0	256970	572	23,9165	75740	1,74825
573	2292	328329	1898,7	271994	1800,1	257869	573	23,9374	75815	1,74520
574	2296	329476	1902,1	272945	1803,3	258770	574	23,9583	75891	1,74216
575	2300	330625	1905,4	273896	1806,4	259672	575	23,9792	75967	1,73913
576	2304	331776	1908,7	274850	1809,6	260576	576	24,0000	76042	1,73611
577	2308	332929	1912,0	275805	1812,7	261482	577	24,0208	76118	1,73310
578	2312	334084	1915,3	276762	1815,8	262389	578	24,0416	76193	1,73010
579	2316	335241	1918,6	277720	1819,0	263298	579	24,0624	76268	1,72712
580	2320	336400	1921,9	278680	1822,1	264208	**580**	24,0832	76343	1,72414
581	2324	337561	1925,2	279642	1825,3	265120	581	24,1039	76418	1.72117
582	2328	338724	1928,6	280606	1828,4	266033	582	24,1247	76492	1,71821
583	2332	339889	1931.9	281571	1831,5	266948	583	24,1454	76567	1,71527
584	2336	341056	1935,2	282537	1834,7	267865	584	24,1661	76641	1,71233
585	2340	342225	1938,5	283506	1837,8	268783	585	24,1868	76716	1,70940
586	2344	343396	1941,8	284476	1841,0	269703	586	24,2074	76790	1,70649
587	2348	344569	1945,1	285448	1844.1	270624	587	24,2281	76864	1,70358
588	2352	345744	1948,4	286421	1847,3	271547	588	24,2487	76938	1,70068
589	2356	346921	1951,8	287396	1850,4	272471	589	24,2693	77012	1,69779
590	2360	348100	1955,1	288373	1853,5	273397	**590**	24,2899	77085	1,69492
591	2364	349281	1958,4	289351	1856.7	274325	591	24,3105	77159	1,69205
592	2368	350464	1961.7	290331	1859,8	275254	592	24,3311	77232	1,68919
593	2372	351649	1965,0	291313	1863,0	276184	593	24,3516	77305	1,68634
594	2376	352836	1968,3	292296	1866,1	277117	594	24,3721	77379	1 68350
595	2380	354025	1971,6	293281	1869,2	278051	595	24,3926	77452	1.68067
596	2384	355216	1975,0	294268	1872,4	278986	596	24,4131	77525	1,67785
597	2388	356409	1978,3	295256	1875,5	279923	597	24,4336	77597	1,67504
598	2392	357604	1981,6	296246	1878,7	280862	598	24,4540	77670	1,67224
599	2396	358801	1984,9	297238	1881,8	281802	599	24,4745	77743	1,66945
600	2400	360000	1988,2	298231	1885,0	282743	**600**	24,4949	77815	1,66667

□ ○	Quadrat		Achteck		Kreis		□ ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4 . n$	n^2	$3{,}31368 . n$	$0{,}82842 . n^2$	$\pi . n$	$\pi . n^2 : 4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000 : n$
601	2404	361201	1991,5	299226	1888,1	283687	601	24,5153	77887	1,66389
602	2408	362404	1994,8	300223	1891,2	284631	602	24,5357	77960	1,66113
603	2412	363609	1998,1	301221	1894,4	285578	603	24,5561	78032	1,65837
604	2416	364816	2001,5	302221	1897,5	286526	604	24,5764	78104	1,65563
605	2420	366025	2004,8	303222	1900,7	287475	605	24,5967	78176	1,65289
606	2424	367236	2008,1	304226	1903,8	288426	606	24,6171	78247	1,65017
607	2428	368449	2011,4	305230	1906,9	289379	607	24,6374	78319	1,64745
608	2432	369664	2014,7	306237	1910,1	290333	608	24,6577	78390	1,64474
609	2436	370881	2018,0	307245	1913,2	291289	609	24,6779	78462	1,64204
610	2440	372100	2021,3	308255	1916,4	292247	**610**	24,6982	78533	1,63934
611	2444	373321	2024,7	309267	1919,5	293206	611	24,7184	78604	1,63666
612	2448	374544	2028,0	310280	1922,7	294166	612	24,7386	78675	1,63399
613	2452	375769	2031,3	311295	1925,8	295128	613	24,7588	78746	1,63132
614	2456	376996	2034,6	312311	1928,9	296092	614	24,7790	78817	1,62866
615	2460	378225	2037,9	313329	1932,1	297057	615	24,7992	78888	1,62602
616	2464	379456	2041,2	314349	1935,2	298024	616	24,8193	78958	1,62338
617	2468	380689	2044,5	315370	1938,4	298992	617	24,8395	79029	1,62075
618	2472	381924	2047,9	316393	1941,5	299962	618	24,8596	79099	1,61812
619	2476	383161	2051,2	317418	1944,6	300934	619	24,8797	79169	1,61551
620	2480	384400	2054,5	318445	1947,8	301907	**620**	24,8998	79239	1,61290
621	2484	385641	2057,8	319473	1950,9	302882	621	24,9199	79309	1,61031
622	2488	386884	2061,1	320502	1954,1	303858	622	24,9399	79379	1,60772
623	2492	388129	2064,4	321534	1957,2	304836	623	24,9600	79449	1,60514
624	2496	389376	2067,7	322567	1960,4	305815	624	24,9800	79518	1,60256
625	2500	390625	2071,1	323602	1963,5	306796	625	25,0000	79588	1,60000
626	2504	391876	2074,4	324638	1966,6	307779	626	25,0200	79657	1,59744
627	2508	393129	2077,7	325676	1969,8	308763	627	25,0400	79727	1,59491
628	2512	394384	2081,0	326716	1972,9	309748	628	25,0599	79796	1,59236
629	2516	395641	2084,3	327757	1976,1	310736	629	25,0799	79865	1,58983
630	2520	396900	2087,6	328800	1979,2	311725	**630**	25,0998	79934	1,58730
631	2524	398161	2090,9	329845	1982,3	312715	631	25,1197	80003	1,58479
632	2528	399424	2094,2	330891	1985,5	313707	632	25,1396	80072	1,58228
633	2532	400689	2097,6	331939	1988,6	314700	633	25,1595	80140	1,57978
634	2536	401956	2100,9	332988	1991,8	315696	634	25,1794	80209	1,57729
635	2540	403225	2104,2	334040	1994,9	316692	635	25,1992	80277	1,57480
636	2544	404496	2107,5	335093	1998,1	317690	636	25,2190	80346	1,57233
637	2548	405769	2110,8	336147	2001,2	318690	637	25,2389	80414	1,56986
638	2552	407044	2114,1	337203	2004,3	319692	638	25,2587	80482	1,56740
639	2556	408321	2117,4	338261	2007,5	320695	639	25,2784	80550	1,56495
640	2560	409600	2120,8	339321	2010,6	321699	**640**	25,2982	80618	1,56250
641	2564	410881	2124,1	340382	2013,8	322705	641	25,3180	80686	1,56006
642	2568	412164	2127,4	341445	2016,9	323713	642	25,3377	80754	1,55763
643	2572	413449	2130,7	342509	2020,0	324722	643	25,3574	80821	1,55521
644	2576	414736	2134,0	343576	2023,2	325733	644	25,3772	80889	1,55280
645	2580	416025	2137,3	344643	2026,3	326745	645	25,3969	80956	1,55039
646	2584	417316	2140,6	345713	2029,5	327759	646	25,4165	81023	1,54799
647	2588	418609	2141,0	346784	2032,6	328775	647	25,4362	81090	1,54560
648	2592	419904	2147,3	347857	2035,8	329792	648	25,4558	81158	1,54321
649	2596	421201	2150,6	348931	2038,9	330810	649	25,4755	81224	1,54083
650	2600	422500	2153,9	350007	2042,0	331831	**650**	25,4951	81291	1,53846

□ ○	Quadrat		Achteck		Kreis		□ ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4 \cdot n$	n^2	$3{,}31368 \cdot n$	$0{,}82842 \cdot n^2$	$\pi \cdot n$	$\pi \cdot n^2 : 4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000 : n$
651	2604	423801	2157,2	351085	2045,2	332853	651	25,5147	81358	1,53610
652	2608	425104	2160,5	352165	2048,3	333876	652	25,5343	81425	1,53374
653	2612	426409	2163,8	353246	2051,5	334901	653	25,5539	81491	1,53139
654	2616	427716	2167,1	354328	2054,6	335927	654	25,5734	81558	1,52905
655	2620	429025	2170,5	355413	2057,7	336955	655	25,5930	81624	1,52672
656	2624	430336	2173,8	356499	2060,9	337985	656	25,6125	81690	1,52439
657	2628	431649	2177,1	357587	2064,0	339016	657	25,6320	81757	1,52207
658	2632	432964	2180,4	358676	2067,2	340049	658	25,6515	81823	1,51976
669	2636	434281	2183,7	359767	2070,3	341083	659	25,6710	81889	1,51745
660	2640	435600	2187,0	360860	2073,5	342119	**660**	25,6905	81954	1,51515
661	2644	436921	2190,3	361953	2076,6	343157	661	25,7099	82020	1,51286
662	2648	438244	2193,7	363050	2079,7	344196	662	25,7294	82086	1,51057
663	2652	439569	2197,0	364148	2082,9	345237	663	25,7488	82151	1,50830
664	2656	440896	2200,3	365247	2086,0	346279	664	25,7682	82217	1,50602
665	2660	442225	2203,6	366348	2089,2	347323	665	25,7876	82282	1,50376
666	2664	443556	2206,9	367451	2092,3	348368	666	25,8070	82347	1,50150
667	2668	444889	2210,2	368555	2095,4	349415	667	25,8263	82413	1,49925
668	2672	446224	2213,5	369661	2098,6	350464	668	25,8457	82478	1,49701
669	2676	447561	2216,9	370768	2101,7	351514	669	25,8650	82543	1,49477
670	2680	448900	2220,2	371878	2104,9	352565	**670**	25,8844	82607	1,49254
671	2684	450241	2223,5	372989	2108,0	353618	671	25,9037	82672	1,49031
672	2688	451584	2226,8	374101	2111,2	354673	672	25,9230	82737	1,48810
673	2692	452929	2230,1	375215	2114,3	355730	673	25,9422	82802	1,48588
674	2696	454276	2233,4	376331	2117,4	356788	674	25,9615	82866	1,48368
675	2700	455625	2236,7	377449	2120,6	357847	675	25,9808	82930	1,48148
676	2704	456976	2240,0	378568	2123,7	358908	676	26,0000	82995	1,47929
677	2708	458329	2243,4	379689	2126,9	359971	677	26,0192	83059	1,47711
678	2712	459684	2246,7	380811	2130,0	361035	678	26,0384	83123	1,47493
679	2716	461041	2250,0	381936	2133,1	362101	679	26,0576	83187	1,47275
680	2720	462400	2253,3	383061	2136,3	363168	**680**	26,0768	83251	1,47059
681	2724	463761	2256,6	384189	2139,4	364237	681	26,0960	83315	1,46843
682	2728	465124	2259,9	385318	2142,6	365308	682	26,1151	83378	1,46628
683	2732	466489	2263,2	386449	2145,7	366380	683	26,1343	83442	1,46413
684	2736	467856	2266,6	387581	2148,8	367453	684	26,1534	83506	1,46199
685	2740	469225	2269,9	388715	2152,0	368528	685	26,1725	83569	1,45985
686	2744	470596	2273,2	389851	2155,1	369605	686	26,1916	83632	1,45773
687	2748	471969	2276,5	390989	2158,3	370684	687	26,2107	83696	1,45560
688	2752	473344	2279,8	392128	2161,4	371764	688	26,2298	83759	1,45349
689	2756	474721	2283,1	393268	2164,6	372845	689	26,2488	83822	1,45138
690	2760	476100	2286,4	394411	2167,7	373928	**690**	26,2679	83885	1,44928
691	2764	477481	2289,8	395555	2170,8	375013	691	26,2869	83948	1,44718
692	2768	478864	2293,1	396701	2174,0	376099	692	26,3059	84011	1,44509
693	2772	480249	2296,4	397848	2177,1	377187	693	26,3249	84073	1,44300
694	2776	481636	2299,7	398997	2180,3	378276	694	26,3439	84136	1,44092
695	2780	483025	2303,0	400148	2183,4	379367	695	26,3629	84198	1,43885
696	2784	484416	2306,3	401300	2186,5	380459	696	26,3818	84261	1,43678
697	2788	485809	2309,6	402454	2189,7	381553	697	26,4008	84323	1,43472
698	2792	487204	2312,9	403610	2192,8	382649	698	26,4197	84386	1,43267
699	2796	488601	2316,3	404767	2196,0	383746	699	26,4386	84448	1,43062
700	2800	490000	2319,6	405926	2199,1	384845	**700**	26,4575	84510	1,42857

□ / ○	Quadrat		Achteck		Kreis		□ / ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4 . n$	n^2	$3{,}31368 . n$	$0{,}82842 . n^2$	$\pi . n$	$\pi . n^2 : 4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000 : n$
701	2804	491401	2322,9	407086	2202,3	385945	701	26,4764	84572	1,42653
702	2808	492804	2326,2	408249	2205,4	387047	702	26,4953	84634	1,42450
703	2812	494209	2329,5	409413	2208,5	388151	703	26,5141	84696	1,42248
704	2816	495616	2332,8	410578	2211,7	389256	704	26,5330	84757	1,42046
705	2820	497025	2336,1	411745	2214,8	390363	705	26,5518	84819	1,41844
706	2824	498436	2339,5	412914	2218,0	391471	706	26,5707	84880	1,41643
707	2828	499849	2342,8	414085	2221,1	392580	707	26,5895	84942	1,41443
708	2832	501264	2346,1	415257	2224,2	393692	708	26,6083	85003	1,41243
709	2836	502681	2349,4	416431	2227,4	394805	709	26,6271	85065	1,41044
710	2840	504100	2352,7	417607	2230,5	395919	**710**	26,6458	85126	1,40845
711	2844	505521	2356,0	418784	2233,7	397035	711	26,6646	85187	1,40647
712	2848	506944	2359,3	419963	2236,8	398153	712	26,6833	85248	1,40449
713	2852	508369	2362,7	421143	2240,0	399272	713	26,7021	85309	1,40253
714	2856	509796	2366,0	422325	2243,1	400393	714	26,7208	85370	1,40056
715	2860	511225	2369,3	423509	2246,2	401515	715	26,7395	85431	1,39860
716	2864	512656	2372,6	424694	2249,4	402639	716	26,7582	85491	1,39665
717	2868	514089	2375,9	425882	2252,5	403765	717	26,7769	85552	1,39470
718	2872	515524	2379,2	427070	2255,7	404892	718	26,7955	85612	1,39276
719	2876	516961	2382,5	428261	2258,8	406020	719	26,8142	85673	1,39082
720	2880	518400	2385,8	429453	2261,9	407150	**720**	26,8328	85733	1,38889
721	2884	519841	2389,2	430647	2265,1	408282	721	26,8514	85794	1,38696
722	2888	521284	2392,5	431842	2268,2	409415	722	26,8701	85854	1,38504
723	2892	522729	2395,8	433039	2271,4	410550	723	26,8887	85914	1,38313
724	2896	524176	2399,1	434238	2274,5	411687	724	26,9072	85974	1,38122
725	2900	525625	2402,4	435438	2277,7	412825	725	26,9258	86034	1,37931
726	2904	527076	2405,7	436640	2280,8	413965	726	26,9444	86094	1,37741
727	2908	528529	2409,0	437844	2283,9	415106	727	26,9629	86153	1,37552
728	2912	529984	2412,4	439049	2287,1	416248	728	26,9815	86213	1,37363
729	2916	531441	2415,7	440256	2290,2	417393	729	27,0000	86273	1,37174
730	2920	532900	2419,0	441465	2293,4	418539	**730**	27,0185	86332	1,36986
731	2924	534361	2422,3	442675	2296,5	419686	731	27,0370	86392	1,36799
732	2928	535824	2425,6	443887	2299,6	420835	732	27,0555	86451	1,36612
733	2932	537289	2428,9	445101	2302,8	421986	733	27,0740	86510	1,36426
734	2936	538756	2432,2	446316	2305,9	423138	734	27,0924	86570	1,36240
735	2940	540225	2435,6	447533	2309,1	424292	735	27,1109	86629	1,36054
736	2944	541696	2438,9	448752	2312,2	425447	736	27,1293	86688	1,35870
737	2948	543169	2442,2	449972	2315,4	426604	737	27,1477	86747	1,35685
738	2952	544644	2445,5	451194	2318,5	427762	738	27,1662	86806	1,35501
739	2956	546121	2448,8	452418	2321,6	428922	739	27,1846	86864	1,35318
740	2960	547600	2452,1	453643	2324,8	430084	**740**	27,2029	86923	1,35135
741	2964	549081	2455,4	454870	2327,9	431247	741	27,2213	86982	1,34953
742	2968	550564	2458,8	456098	2331,1	432412	742	27,2397	87040	1,34771
743	2972	552049	2462,1	457328	2334,2	433578	743	27,2580	87099	1,34590
744	2976	553536	2465,4	458560	2337,3	434746	744	27,2764	87157	1,34409
745	2980	555025	2468,7	459794	2340,5	435916	745	27,2947	87216	1,34228
746	2984	556516	2472,0	461029	2343,6	437087	746	27,3130	87274	1,34048
747	2988	558009	2475,3	462266	2346,8	438259	747	27,3313	87332	1,33869
748	2992	559504	2478,6	463504	2349,9	439433	748	27,3496	87390	1,33690
749	2996	561001	2481,9	464744	2353,1	440609	749	27,3679	87448	1,33511
750	3000	562500	2485,3	465986	2356,2	441786	**750**	27,3861	87506	1,33333

□ / ○	Quadrat		Achteck		Kreis		□ / ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4.n$	n^2	$3{,}31368.n$	$0{,}82842.n^2$	$\pi.n$	$\pi.n^2:4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000:n$
751	3004	564001	2488,6	467230	2359,3	442065	751	27,4044	87564	1,33156
752	3008	565504	2491,9	468475	2362,5	444146	752	27,4226	87622	1,32979
753	3012	567009	2495,2	469722	2365,6	445328	753	27,4408	87679	1,32802
754	3016	568516	2498,5	470970	2368,8	446511	754	27,4591	87737	1,32626
755	3020	570025	2501,8	472220	2371,9	447697	755	27,4773	87795	1,32450
756	3024	571536	2505,1	473472	2375,0	448883	756	27,4955	87852	1,32275
757	3028	573049	2508,5	474725	2378,2	450072	757	27,5136	87910	1,32100
758	3032	574564	2511,8	475980	2381,3	451262	758	27,5318	87967	1,31926
759	3036	576081	2515,1	477237	2384,5	452453	759	27,5500	88024	1,31752
760	3040	577600	2518,4	478495	2387,6	453646	**760**	27,5681	88081	1,31579
761	3044	579121	2521,7	479755	2390,8	454841	761	27,5862	88138	1,31406
762	3048	580644	2525,0	481017	2393,9	456037	762	27,6043	88195	1,31234
763	3052	582169	2528,3	482280	2397,0	457234	763	27,6225	98252	1,31062
764	3056	583696	2531,7	483545	2400,2	458434	764	27,6405	88309	1,30890
765	3060	585225	2535,0	484812	2403,3	459635	765	27,6586	88366	1,30719
766	3064	586756	2538,3	486080	2406,5	460837	766	27,6767	88423	1,30548
767	3068	588289	2541,6	487350	2409,6	462041	767	27,6948	88480	1,30378
768	3072	589824	2544,9	488622	2412,7	463247	768	27,7128	88536	1,30208
769	3076	591361	2548,2	489895	2415,9	464454	769	27,7308	88593	1,30039
770	3080	592900	2551,5	491170	2419,0	465663	**770**	27,7489	88649	1,29870
771	3084	594441	2554,8	492447	2422,2	466873	771	27,7669	88705	1,29702
772	3088	595984	2558,2	493725	2425,3	468085	772	27,7849	88762	1,29534
773	3092	597529	2561,5	495005	2428,5	469298	773	27,8029	88818	1,29366
774	3096	599076	2564,8	496287	2431,6	470513	774	27,8209	88874	1,29199
775	3100	600625	2568,1	497570	2434,7	471730	775	27,8388	88930	1,29032
776	3104	602176	2571,4	498855	2437,9	472948	776	27,8568	88986	1,28866
777	3108	603729	2574,7	500141	2441,0	474168	777	27,8747	89042	1,28700
778	3112	605284	2578,0	501429	2444,2	475389	778	27,8927	89098	1,28535
779	3116	606841	2581,4	502719	2447,3	476612	779	27,9106	89154	1,28370
780	3120	608400	2584,7	504011	2450,4	477836	**780**	27,9285	89209	1,28205
781	3124	609961	2588,0	505304	2453,6	479062	781	27,9464	89265	1,28041
782	3128	611524	2591,3	506599	2456,7	480290	782	27,9643	89321	1,27877
783	3132	613089	2594,6	507895	2459,9	481519	783	27,9821	89376	1,27714
784	3136	614656	2597,9	509193	2463,0	482750	784	28,0000	89432	1,27551
785	3140	616225	2601,2	510493	2466,2	483982	785	28,0179	89487	1,27389
786	3144	617796	2604,6	511795	2469,3	485216	786	28,0357	89542	1,27226
787	3148	619369	2607,9	513098	2472,4	486451	787	28,0535	89597	1,27065
788	3152	620944	2611,2	514402	2475,6	487688	788	28,0713	89653	1,26904
789	3156	622521	2614,5	515709	2478,7	488927	789	28,0891	89708	1,26743
790	3160	624100	2617,8	517017	2481,9	490167	**790**	28,1069	89763	1,26582
791	3164	625681	2621,1	518327	2485,0	491409	791	28,1247	89818	1,26422
792	3168	627264	2624,4	519638	2488,1	492652	792	28,1425	89873	1,26263
793	3172	628849	2627,7	520951	2491,3	493897	793	28,1603	89927	1,26103
794	3176	630436	2631,1	522266	2494,4	495143	794	28,1780	89982	1,25945
795	3180	632025	2634,4	523582	2497,6	496391	795	28,1957	90037	1,25786
796	3184	633616	2637,7	524900	2500,7	497641	796	28,2135	90091	1,25628
797	3188	635209	2641,0	526220	2503,8	498892	797	28,2312	90146	1,25471
798	3192	636804	2644,3	527541	2507,0	500145	798	28,2489	90200	1,25313
799	3196	638401	2647,6	528864	2510,1	501399	799	28,2666	90255	1,25156
800	3200	640000	2650,9	530189	2513,3	502655	**800**	28,2843	90309	1,25000

□ / ○	Quadrat		Achteck		Kreis		□ / ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4 . n$	n^2	$3{,}31368 . n$	$0{,}82842 . n^2$	$\pi . n$	$\pi . n^2 : 4$	n	$\sqrt{n}$	$\log \pi$	$1000 : n$
801	3204	641601	2654,3	531515	2516,4	503912	801	28,3019	90363	1,24844
802	3208	643204	2657,6	532843	2519,6	505171	802	28,3196	90417	1,24688
803	3212	644809	2660,9	534173	2522,7	506432	803	28,3373	90472	1,24533
804	3216	646416	2664,2	535504	2525,8	507694	804	28,3549	90526	1,24378
805	3220	648025	2667,5	536837	2529,0	508958	805	28,3725	90580	1,24224
806	3224	649636	2670,8	538171	2532,1	510223	806	28,3901	90634	1,24069
807	3228	651249	2674,1	539508	2535,3	511490	807	28,4077	90687	1,23916
808	3232	652864	2677,5	540846	2538,4	512758	808	28,4253	90741	1,23762
809	3236	654481	2680,8	542185	2541,5	514028	809	28,4429	90795	1,23609
810	3240	656100	2684,1	543526	2544,7	515300	**810**	28,4605	90849	1,23457
811	3244	657721	2687,4	544869	2547,8	516573	811	28,4781	90902	1,23305
812	3248	659344	2690,7	546214	2551,0	517848	812	28,4956	90956	1,23153
813	3252	660969	2694,0	547560	2554,1	519124	813	28,5132	91009	1,23001
814	3256	662596	2697,3	548908	2557,3	520402	814	28,5307	91062	1,22856
815	3260	664225	2700,6	550257	2560,4	521681	815	28,5482	91116	1,22699
816	3264	665856	2704,0	551608	2563,5	522962	816	28,5657	91169	1,22549
817	3268	667489	2707,3	552961	2566,7	524245	817	28,5832	91222	1,22399
818	3272	669124	2710,6	554316	2569,8	525529	818	28,6007	91275	1,22249
819	3276	670761	2713,9	555672	2573,0	526814	819	28,6182	91328	1,22100
820	3280	672400	2717,2	557030	2576,1	528102	**820**	28,6356	91381	1,21951
821	3284	674041	2720,5	558389	2579,2	529391	821	28,6531	91434	1,21803
822	3288	675684	2723,8	559750	2582,4	530681	822	28,6705	91487	1,21655
823	3292	677329	2727,2	561113	2585,5	531973	823	28,6880	91540	1,21507
824	3296	678976	2730,5	562477	2588,7	533267	824	28,7054	91593	1,21359
825	3300	680625	2733,8	563843	2591,8	534562	825	28,7228	91645	1,21212
826	3304	682276	2737,1	565211	2595,0	535858	826	28,7402	91698	1,21065
827	3308	683929	2740,4	566580	2598,1	537157	827	28,7576	91751	1,20919
828	3312	685584	2743,7	567951	2601,2	538456	828	28,7750	91803	1,20773
829	3316	687241	2747,0	569324	2604,4	539758	829	28,7924	91855	1,20627
830	3320	688900	2750,4	570699	2607,5	541061	**830**	28,8097	91908	1,20482
831	3324	690561	2753,7	572075	2610,7	542365	831	28,8271	91960	1,20337
832	3328	692224	2757,0	573452	2613,8	543671	832	28,8444	92012	1,20192
833	3332	693889	2760,3	574832	2616,9	544979	833	28,8617	92065	1,20048
834	3336	695556	2763,6	576213	2620,1	546288	834	28,8791	92117	1,19904
835	3340	697225	2766,9	577595	2623,2	547599	835	28,8964	92169	1,19760
836	3344	698896	2770,2	578979	2626,4	548912	836	28,9137	92221	1,19617
837	3348	700569	2773,6	580365	2629,5	550226	837	28,9310	92273	1,19474
838	3352	702244	2776,9	581753	2632,7	551541	838	28,9482	92324	1,19332
839	3356	703921	2780,2	583142	2635,8	552858	839	28 9655	92376	1,19189
840	3360	705600	2783,5	584533	2638,9	554177	**840**	28,9828	92428	1,19048
841	3364	707281	2786,8	585926	2642,1	555497	841	29,0000	92480	1,18906
842	3368	708964	2790,1	587320	2645,2	556819	842	29,0172	92531	1,18765
843	3372	710649	2793,4	588716	2648,4	558142	843	29,0345	92583	1,18624
844	3376	712336	2796,7	590113	2651,5	559467	844	29,0517	92634	1,18483
845	3380	714025	2800,1	591513	2654,6	560794	845	29,0689	92686	1,18343
846	3384	715716	2803,4	592913	2657,8	562122	846	29,0861	92737	1,18203
847	3388	717409	2806,7	594316	2660,9	563452	847	29,1033	92788	1,18064
848	3392	719104	2810,0	595720	2664,1	564783	848	29,1204	92840	1,17925
849	3396	720801	2813,3	597126	2667,2	566116	849	29,1376	92891	1,17786
850	3400	722500	2816,6	598533	2670,4	567450	**850**	29,1548	92942	1,17647

□ ○	Quadrat		Achteck		Kreis		□ ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4 \cdot n$	n^2	$3{,}31368 \cdot n$	$0{,}82842 \cdot n^2$	$\pi \cdot n$	$\pi \cdot n^2 : 4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000 : n$
851	3404	724201	2819,9	599943	2673,5	568786	851	29,1719	92993	1,17509
852	3408	725904	2823,3	601353	2676,6	570124	852	29,1890	93044	1,17371
853	3412	727609	2826,6	602766	2679,8	571463	853	29,2062	93095	1,17233
854	3416	729316	2829,9	604180	2682,9	572803	854	29,2233	93146	1,17096
855	3420	731025	2833,2	605596	2686,1	574146	855	29,2404	93197	1,16959
856	3424	732736	2836,5	607013	2689,2	575490	856	29,2575	93247	1,16822
857	3428	734449	2839,8	608432	2692,3	576835	857	29,2746	93298	1,16686
858	3432	736164	2843,1	609853	2695,5	578182	858	29,2916	93349	1,16550
859	3436	737881	2846,5	611275	2698,6	579530	859	29,3087	93399	1,16414
860	3440	739600	2849,8	612699	2701,8	580880	**860**	29,3258	93450	1,16279
861	3444	741321	2853,1	614125	2704,9	582232	861	29,3428	93500	1,16144
862	3448	743044	2856,4	615553	2708,1	583585	862	29,3598	93551	1,16009
863	3452	744769	2859,7	616982	2711,2	584940	863	29,3769	93601	1,15875
864	3456	746496	2863,0	618412	2714,3	586297	864	29,3939	93651	1,15741
865	3460	748225	2866,3	619845	2717,5	587655	865	29,4109	93702	1,15607
866	3464	749956	2869,6	621279	2720,6	589014	866	29,4279	93752	1,15473
867	3468	751689	2873,0	622714	2723,8	590375	867	29,4449	93802	1,15340
868	3472	753424	2876,3	624152	2726,9	591738	868	29,4618	93852	1,15207
869	3476	755161	2879,6	625590	2730,0	593102	869	29,4788	93902	1,15075
870	3480	756900	2882,9	627031	2733,2	594468	**870**	29,4958	93952	1,14943
871	3484	758641	2886,2	628473	2736,3	595835	871	29,5127	94002	1,14811
872	3488	760384	2889,5	629917	2739,5	597204	872	29,5296	94052	1,14679
873	3492	762129	2892,8	631363	2742,6	598575	873	29,5466	94101	1,14548
874	3496	763876	2896,2	632810	2745,8	599947	874	29,5635	94151	1,14416
875	3500	765625	2899,5	634259	2748,9	601320	875	29,5804	94201	1,14286
876	3504	767376	2902,8	635710	2752,0	602696	876	29,5973	94250	1,14155
877	3508	769129	2906,1	637162	2755,2	604073	877	29,6142	94300	1,14025
878	3512	770884	2909,4	638616	2758,3	605451	878	29,6311	94349	1,13895
879	3516	772641	2912,7	640071	2761,5	606831	879	29,6479	94399	1,13766
880	3520	774400	2916,0	641528	2764,6	608212	**880**	29,6648	94448	1,13636
881	3524	776161	2919,4	642987	2767,7	609595	881	29,6816	94498	1,13507
882	3528	777924	2922,7	644448	2770,9	610980	882	29,6985	94547	1,13379
883	3532	779689	2926,0	645910	2774,0	612366	883	29,7153	94596	1,13250
884	3536	781456	2929,3	647374	2777,2	613754	884	29,7321	94645	1,13122
885	3540	783225	2932,6	648839	2780,3	615143	885	29,7489	94694	1,12994
886	3544	784996	2935,9	650306	2783,5	616534	886	29,7658	94743	1,12867
887	3548	786769	2939,2	651775	2786,6	617927	887	29,7825	94792	1,12740
888	3552	788544	2942,5	653246	2789,7	619321	888	29,7993	94841	1,12613
889	3556	790321	2945,9	654718	2792,9	620717	889	29,8161	94890	1,12486
890	3560	792100	2949,2	656191	2796,0	622114	**890**	29,8329	94939	1,12360
891	3564	793881	2952,5	657667	2799,2	623513	891	29,8496	94988	1,12233
892	3568	795664	2955,8	659144	2802,3	624913	892	29,8664	95036	1,12108
893	3572	797449	2959,1	660623	2805,4	626315	893	29,8831	95085	1,11982
894	3576	799236	2962,4	662103	2808,6	627718	894	29,8998	95134	1,11857
895	3580	801025	2965,7	663585	2811,7	629124	895	29,9166	95182	1,11732
896	3584	802816	2969,1	665069	2814,9	630530	896	29,9333	95231	1,11607
897	3588	804609	2972,4	666554	2818,0	631938	897	29,9500	95279	1,11483
898	3592	806404	2975,7	668041	2821,2	633348	898	29,9666	95328	1,11359
899	3596	808201	2979,0	669530	2824,3	634760	899	29,9833	95376	1,11235
900	3600	810000	2982,3	671020	2827,4	636173	**900**	30,0000	95424	1,11111

	Quadrat		Achteck		Kreis					
○	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	□ ○			
n	$4 . n$	n^2	$3{,}31368 . n$	$0{,}82842 . n^2$	$\pi . n$	$\pi . n^2 : 4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000 : n$
901	3604	811801	2985,6	672512	2830,6	637587	901	30,0167	95472	1,10988
902	3608	813604	2988,9	674006	2833,7	639003	902	30,0333	95521	1,10865
903	3612	815409	2992,3	675501	2836,9	640421	903	30,0500	95569	1,10742
904	3616	817216	2995,6	676998	2840,0	641840	904	30,0666	95617	1,10619
905	3620	819025	2998,9	678497	2843,1	643261	905	30,0832	95665	1,10497
906	3624	820836	3002,2	679997	2846,3	644683	906	30,0998	95713	1,10375
907	3628	822649	3005,5	681499	2849,4	646107	907	30,1164	95761	1,10254
908	3632	824464	3008,8	683002	2852,6	647533	908	30,1330	95809	1,10132
909	3636	826281	3012,1	684508	2855,7	648960	909	30,1496	95856	1,10011
910	3640	828100	3015,4	686015	2858,8	650388	**910**	30,1662	95904	1,09890
911	3644	829921	3018,8	687523	2862,0	651818	911	30,1828	95952	1,09769
912	3648	831744	3022,1	689033	2865,1	653250	912	30,1993	95999	1,09649
913	3652	833569	3025,4	690545	2868,3	654684	913	30,2159	96047	1,09529
914	3656	835396	3028,7	692059	2871,4	656118	914	30,2324	96095	1,09409
915	3660	837225	3032,0	693574	2874,6	657555	915	30,2490	96142	1,09290
916	3664	839056	3035,3	695091	2877,7	658993	916	30,2655	96190	1,09170
917	3668	840889	3038,6	696609	2880,8	660433	917	30,2820	96237	1,09051
918	3672	842724	3042,0	698129	2884,0	661874	918	30,2985	96284	1,08932
919	3676	844561	3045,3	699651	2887,1	663317	919	30,3150	96332	1,08814
920	3680	846400	3048,6	701175	2890,3	664761	**920**	30,3315	96379	1,08696
921	3684	848241	3051,9	702700	2893,4	666207	921	30,3480	96426	1,08578
922	3688	850084	3055,2	704227	2896,5	667654	922	30,3645	96473	1,08460
923	3692	851929	3058,5	705755	2899,7	669103	923	30,3809	96520	1,08342
924	3696	853776	3061,8	707285	2902,8	670554	924	30,3974	96567	1,08225
925	3700	855625	3065,2	708817	2906,0	672006	925	30,4138	96614	1,08108
926	3704	857476	3068,5	710350	2909,1	673460	926	30,4302	96661	1,07991
927	3708	859329	3071,8	711885	2912,3	674915	927	30,4467	96708	1,07875
928	3712	861184	3075,1	713422	2915,4	676372	928	30,4631	96755	1,07759
929	3716	863041	3078,4	714960	2918,5	677831	929	30,4795	96802	1,07643
930	3720	864900	3081,7	716500	2921,7	679291	**930**	30,4959	96848	1,07527
931	3724	866761	3085,0	718042	2924,8	680752	931	30,5123	96895	1,07411
932	3728	868624	3088,3	719585	2928,0	682216	932	30,5287	96942	1,07296
933	3732	870489	3091,7	721130	2931,1	683680	933	30,5450	96988	1,07181
934	3736	872356	3095,0	722677	2934,2	685147	934	30,5614	97035	1,07066
935	3740	874225	3098,3	724225	2937,4	686615	935	30,5778	97081	1,06952
936	3744	876096	3101,6	725775	2940,5	688084	936	30,5941	97128	1,06838
937	3748	877969	3104,9	727327	2943,7	689555	937	30,6105	97174	1,06724
938	3752	879844	3108,2	728880	2946,8	691028	938	30,6268	97220	1,06610
939	3756	881721	3111,5	730435	2950,0	692502	939	30,6431	97267	1,06496
940	3760	883600	3114,9	731992	2953,1	693978	**940**	30,6594	97313	1,06383
941	3764	885481	3118,2	733550	2956,2	695455	941	30,6757	97359	1,06270
942	3768	887364	3121,5	735110	2959,4	696934	942	30,6920	97405	1,06157
943	3772	889249	3124,8	736672	2962,5	698415	943	30,7083	97451	1,06045
944	3776	891136	3128,1	738235	2965,7	699897	944	30,7246	97497	1,05932
945	3780	893025	3131,4	739800	2968,8	701380	945	30,7409	97543	1,05820
946	3784	894916	3134,7	741366	2971,9	702865	946	30,7571	97589	1,05708
947	3788	896809	3138,1	742935	2975,1	704352	947	30,7734	97635	1,05597
948	3792	898704	3141,4	744504	2978,2	705840	948	30,7896	97681	1,05485
949	3796	900601	3144,7	746076	2981,4	707330	949	30,8058	97727	1,05374
950	3800	902500	3148,0	747649	2984,5	708822	**950**	30,8221	97772	1,05263

□ ○	Quadrat		Achteck		Kreis		□ ○			
	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt	Umfang	Inhalt				
n	$4.n$	n^2	$3{,}31368.n$	$0{,}82842.n^2$	$\pi.n$	$\pi.n^2:4$	n	$\sqrt{n}$	$\log n$	$1000:n$
951	3804	904401	3151,3	749224	2987,7	710315	951	30,8383	97818	1,05152
952	3808	906304	3154,6	750800	2990,8	711809	952	30,8545	97864	1,05042
953	3812	908209	3157,9	752378	2993,9	713306	953	30,8707	97909	1,04932
954	3816	910116	3161,3	753958	2997,1	714803	954	30,8869	97955	1,04822
955	3820	912025	3164,6	755540	3000,2	716303	955	30,9031	98000	1,04712
956	3824	913936	3167,9	757123	3003,4	717804	956	30,9192	98046	1,04603
957	3828	915849	3171,2	758708	3006,5	719306	957	30,9354	98091	1,04493
958	3832	917764	3174,5	760294	3009,6	720810	958	30,9516	98137	1,04384
959	3836	919681	3177,8	761882	3012,8	722316	959	30,9677	98182	1,04275
960	3840	921600	3181,1	763472	3015,9	723823	**960**	30,9839	98227	1,04167
961	3844	923521	3184,4	765063	3019,1	725332	961	31,0000	98272	1,04058
962	3848	925444	3187,8	766656	3022,2	726842	962	31,0161	98318	1,03950
963	3852	927369	3191,1	768251	3025,4	728354	963	31,0322	98363	1,03842
964	3856	929296	3194,4	769847	3028,5	729867	964	31,0483	98408	1,03734
965	3860	931225	3197,7	771445	3031,6	731382	965	31,0644	98453	1,03627
966	3864	933156	3201,0	773045	3034,8	732899	966	31,0805	98498	1,03520
967	3868	935089	3204,3	774646	3037,9	734417	967	31,0966	98543	1,03413
968	3872	937024	3207,6	776249	3041,1	735937	968	31,1127	98588	1,03306
969	3876	938961	3211,0	777854	3044,2	737458	969	31,1288	98632	1,03199
970	3880	940900	3214,3	779460	3047,3	738981	**970**	31,1448	98677	1,03093
971	3884	942841	3217,6	781068	3050,5	740506	971	31,1609	98722	1,02987
972	3888	944784	3220,9	782678	3053,6	742032	972	31,1769	98767	1,02881
973	3892	946729	3224,2	784289	3056,8	743559	973	31,1929	98811	1,02775
974	3896	948676	3227,5	785902	3059,9	745088	974	31,2090	98856	1,02669
975	3900	950625	3230,8	787517	3063,1	746619	975	31,2250	98900	1,02564
976	3904	952576	3234,2	789133	3066,2	748151	976	31,2410	98945	1,02459
977	3908	954529	3237,5	790751	3069,3	749685	977	31,2570	98989	1,02354
978	3912	956484	3240,8	792370	3072,5	751221	978	31,2730	99034	1,02249
979	3916	958441	3244,1	793992	3075,6	752758	979	31,2890	99078	1,02145
980	3920	960400	3247,4	795615	3078,8	754296	**980**	31,3050	99123	1,02041
981	3924	962361	3250,7	797239	3081,9	755837	981	31,3209	99167	1,01937
982	3928	964324	3254,0	798865	3085,0	757378	982	31,3369	99211	1,01833
983	3932	966289	3257,3	800493	3088,2	758922	983	31,3528	99255	1,01729
984	3936	968256	3260,7	802123	3091,3	760466	984	31,3688	99300	1,01626
985	3940	970225	3264,0	803754	3094,5	762013	985	31,3847	99344	1,01523
986	3944	972196	3267,3	805387	3097,6	763561	986	31,4006	99388	1,01420
987	3948	974169	3270,6	807021	3100,8	765111	987	31,4166	99432	1,01317
988	3952	976144	3273,9	808657	3103,9	766662	988	31,4325	99476	1,01215
989	3956	978121	3277,2	810295	3107,0	768214	989	31,4484	99520	1,01112
990	3960	980100	3280,5	811934	3110,2	769769	**990**	31,4643	99564	1,01010
991	3964	982081	3283,9	813576	3113,3	771325	991	31,4802	99607	1,00908
992	3968	984064	3287,2	815218	3116,5	772882	992	31,4960	99651	1,00806
993	3972	986049	3290,5	816863	3119,6	774441	993	31,5119	99695	1,00705
994	3976	988036	3293,8	818509	3122,7	776002	994	31,5278	99739	1,00604
995	3980	990025	3297,1	820157	3125,9	777564	995	31,5436	99782	1,00503
996	3984	992016	3300,4	821806	3129,0	779128	996	31,5595	99826	1,00402
997	3988	994009	3303,7	823457	3132,2	780693	997	31,5753	99870	1,00301
998	3992	996004	3307,1	825110	3135,3	782260	998	31,5911	99913	1,00200
999	3996	998001	3310,4	826764	3138,5	783828	999	31,6070	99957	1,00100
1000	4000	1000000	3313,7	828420	3141,6	785398	**1000**	31,6238	00000	1,00000

Sachregister.

(Die Zahlen bedeuten die Seiten.)

A.

Achteck, gleichseitiges:
Centralkern 38, 39, 68.
Flächeninhalt 14, Tabelle XXIV—XLIII.
Trägheitsmoment 37, 72.
Umfang Tabelle XXIV—XLIII.

Achteck, gleichseitiges, mit achteckigem Loch:
Centralkern 37, 38, 39, 68.

Achteck, gleichseitiges, mit Kreisloch:
Centralkern 42—44, 68.

Atmosphärendruck 7, 8.

Atomgewicht
von Kohlenstoff, Sauerstoff, Schwefel- und Wasserstoff 1.

B.

Beanspruchung des Mauerwerkes
bei windseitig klaffenden Fugen 70—72.
durch Eigenlast 32.
durch Eigenlast und Winddruck 32, 47—50, 67, 69.
durch Winddruck 47.

Beanspruchung des Mauerwerkes, zulässige,
auf Abscheeren 33.
auf Druck 69, 70.
auf Zug 70.

Braunkohle (mittlere):
Luftmenge, zur Verbrennung erforderliche 86.
Verbrennung auf 1 qm Rostfläche und Stunde 56.
Verbrennungsprodukte, Gewicht der, 86.
Zusammensetzung 85.

Brennmaterialien:
Heizwerth 3, 4, 52.
Luftmenge, zur Verbrennung erforderliche, 2, 51.
Verbrennung auf 1 qm Rostfläche und Stunde 56.
Verbrennungsprodukte, Gewicht der, 2, 3, 51, 52.
Verdampfungskraft 5, 52.
Zusammensetzung 1.

C.

Calorie:
Erklärung 3.

Centralkern
allgemeine Entwicklung 32—35.
des Achteckes 38, 39, 68.
des Achteckes mit achteckigem Loch 37 38, 39, 68.
des Achteckes mit Kreisloch 42—44, 68.
des Kreises 38, 39, 68.
des Kreisringes 38, 39, 68.
des Quadrates 38, 39, 68.
des Quadrates mit achteckigem Loch 39, 40, 68.
des Quadrates mit durchgehendem Kanal 45, 46, 68.
des Quadrates mit Kreisloch 40—42, 68.
des Quadrates mit quadratischem Loch 35—37, 38, 39, 68.

Coefficienten
des Winddruckes 26—31, 58.

D.

Druck
der Atmosphäre 7, 8.
des senkrecht auftreffenden Windes 23, 24, 29—31, 58.
des übereck wehenden Windes 23, 24, 29—31, 58, 133.
gesättigter Wasserdämpfe 5, 53.

Druckspannung,
zulässige, für Mauerwerk 69, 70.

Dulong'sche Formel 4.

E.

Esse,
hohe, der Königlichen Halsbrückner Hütte 7, 60, 70, 130, 131.
schiefstehende, Untersuchung der Standfestigkeit und der Beanspruchung des Mauerwerkes 125—129.
schiefstehende, Geraderichtung einer solchen 129, 130.

F.

Flächeninhalt
von Achteck, Kreis und Quadrat für die Durchmesser 1—1000 Tabelle XXIV bis XLIII.
Formel
von Dulong 4.
von Péclet 9—16, 54, 55.
von Regnault 5, 52.
von v. Reiche 18—21, 55, 56.

G.

Gesammtwärme
gesättigter Wasserdämpfe 5, 52, 53.
Gesetz
von Mariotte-Gay-Lussac 8, 13.
Gewicht
der Verbrennungsprodukte von 1 kg Brennmaterial 2, 3, 51.
der Verbrennungsprodukte in der Secunde 3, 52.
specifisches, der atmosphärischen Luft 2.
specifisches, des Mauerwerkes 58.

H.

Heizwerth
der Brennmaterialien 3, 4, 52.
des Kohlenstoffes 3.
des Schwefels 3.
der Steinkohle (mittlerer Güte) 6, 53, 54.
des Torfes (mittlerer Güte) 74,
des Wasserstoffes 3.
Höhe
und lichte Weite der Schornsteine im Verhältniss zum Kohlenverbrauch Tabelle I—VII.

K.

Kaminreservoir,
Intze'sches 123.
Kernlinie,
Entfernung derselben vom Mittelpunkt, 46, 47, 68.
Erklärung und Entwicklung derselben, 32 bis 35.
für das Achteck 38, 39, 68.
für das Achteck mit achteckigem Loch 37, 38, 39, 68.
Kernlinie
für das Achteck mit Kreisloch 42—44, 68.
für den Kreis 38, 39, 68.
für den Kreisring 38, 39, 68.
für das Quadrat 38, 39, 68.
für das Quadrat mit achteckigem Loch 39, 40, 68.
für das Quadrat mit durchgehendem Kanal 45, 46, 68.
für das Quadrat mit Kreisloch 40—42, 68.
für das Quadrat mit quadratischem Loch 35—37, 38, 39, 68.
Kohlenstoff:
Atomgewicht 1.
Chemische Bezeichnung 1.
Heizwerth 3.
Kohlenverbrauch,
stündlicher, auf 1 qm Rostfläche 56.
Kopfgewicht,
gusseisernes, 121—123.
Kreis:
Centralkern 38, 39, 68.
Flächeninhalt 14, Tabelle XXIV—XLIII.
Trägheitsmoment 38, 72.
-Umfang Tabelle XXIV—XLIII.
Kreisring:
Centralkern 38, 39, 68.

L.

Logarithmen
der Zahlen 1—1000 Tabelle XXIV—XLIII.
Luft,
atmosphärische, specifisches Gewicht 2.
atmosphärische, Zusammensetzung 2.
Luftdruck
(Druck der Atmosphäre) 7, 8.
Luftmenge,
zur Verbrennung erforderliche, 2, 51.

M.

Mariotte-Gay-Lussac'sches Gesetz 8, 13.
Mauerwerk aus Normalsteinen:
Tabelle der Schichten 61.
Tabelle der Steinstärken 61.
Wandstärke, obere 60.
Zahl der Schichten auf das steigende Meter 60.
Zunahme der Wandstärke von Absatz zu Absatz 60.

Mauerwerk aus Radialsteinen:
Wandstärke, obere 60.
Zahl der Schichten auf das steigende Meter 60.
Zunahme der Wandstärke von Absatz zu Absatz 60.
Mauerwerkes,
Beanspruchung des, bei windseitig klaffenden Fugen 70—72.
Beanspruchung des, durch Eigenlast 32.
Beanspruchung des, durch Eigenlast und Winddruck 32,. 47—50, 67, 69.
Beanspruchung des, durch Winddruck 47.
zulässige Beanspruchung des, auf Abscheeren 33.
zulässige Beanspruchung des, auf Druck 69, 70.
zulässige Beanspruchung des, auf Zug 70.
Moment
des Schornsteingewichtes 24.
des Winddruckes 24.

P.

Péclet'sche Formeln 9—16, 54, 55.

Q.

Quadrat:
Centralkern 38, 39, 68.
Flächeninhalt 14, Tabelle XXIV—XLIII.
Trägheitsmoment 35, 72.
-Umfang Tabelle XXIV—XLIII.
Quadrat mit achteckigem Loch:
Centralkern 39, 40, 68.
Quadrat mit durchgehendem Kanal:
Centralkern 45, 46, 68.
Quadrat mit Kreisloch:
Centralkern 40—42, 68.
Quadrat mit quadratischem Loch:
Centralkern 35—37, 38, 39, 68.

R.

Rauchgase,
Gewicht der, von 1 kg Brennstoff 2, 51.
Gewicht der, in der Secunde 3, 52.
Reciproken
der Zahlen 1—1000 Tabelle XXIV—XLIII
Regnault'sche Gleichung
für gesättigte Wasserdämpfe 5, 52.
v. Reiche'sche Formeln 18—21, 55, 56.

S.

Sauerstoff:
Atomgewicht 1.
Chemische Bezeichnung 1.
Schornstein,
achteckiger, Berechnung und Untersuchung 85—95.
runder, Berechnung und Untersuchung 21, 22, 95—108.
quadratischer, Berechnung und Untersuchung 73—85.
schiefstehender, Geraderichtung 129, 130.
schiefstehender, Untersuchung 125—129.
Schornsteine:
lichte Weite und Höhe derselben im Verhältniss zum Kohlenverbrauch in der Stunde Tabelle I—VII.
runde, Einrichtung und Gebrauch der Tabellen VIII—XXIII 62—65.
runde, angenäherte Stabilitätsberechnung, 65, 66.
runde, von durchaus gleicher Standfestigkeit, Tabellen der Querschnitte des Mauerwerkes Tabelle VIII—XXIII.
Schornsteines,
Erhöhung eines, 114—121.
Gewichtsmoment eines, 24.
grösste Saugwirkung eines, 12.
Untersuchung eines, 108—129.
Wirkungsweise eines, 7.
Schornstein-Gewicht,
erforderliches, bei vorgeschriebener Standfestigkeit 24, 57.
Schornstein-Höhe 7
Schornstein-Kopf 62.
Schornstein-Mauerwerk:
Querschnitt, erforderlicher, bei vorgeschriebener Standfestigkeit 25, 57.
Wandstärken 60.
Wandstärke, erforderliche, bei vorgeschriebener Standfestigkeit 25, 26, 57.
Zunahme der Wandstärke von Absatz zu Absatz 60.
Schornstein-Sockel 62.
Schornstein-Volumen,
erforderliches, bei vorgeschriebener Standfestigkeit 24, 57.
Schornstein-Zug 16—18, 55.

Schwefel:
Atomgewicht 1.
Chemische Bezeichnung 1.
Heizwerth 3.
Standfestigkeit
der Schornsteine 23—31, 57, 58, 59, 60.
Grenze der, 58, 59, 60.
Steinkohle (mittlere):
Heizwerth 6, 53, 54.
Luftmenge, zur Verbrennung erforderliche, 6, 53, 54.
Verbrennung auf 1 qm Rostfläche und Stunde 56.
Verbrennungsprodukte, Gewicht der, 6, 53, 54.
Verdampfungskraft 6, 53, 54.
Zusammensetzung 6, 53, 54.

T.

Temperatur,
absolute, der äusseren Luft und der Schornsteingase 56.
Torf (mittlerer):
Heizwerth 74.
Luftmenge, zur Verbrennung erforderliche, 74, 75.
Verbrennung auf 1 qm Rostfläche und Stunde 56.
Verbrennungsprodukte, Gewicht der, 75.
Zusammensetzung 73.
Trägheitsmoment
des Achteckes 37, 72.
des Kreises 38, 72.
des Quadrates 35, 72.

U.

Umfang
von Achteck, Kreis und Quadrat Tabelle XXIV—XLIII.

V.

Verbrennungsprodukte,
Gewicht der, von 1 kg Brennstoff 2, 51.
Gewicht der, in der Secunde 3, 52.
Verbrennungsprozess 1.
Verdampfung 5, 52.
Verdampfungswärme,
gesammte, 5, 52, 53.

W.

Wärmeeinheit:
Erklärung 3.
Wärmemenge,
gesammte, des gesättigten Wasserdampfes 5, 52, 53.
specifische, des überhitzten Wasserdampfes 4.
Wandstärke,
obere, der Schornsteine 60
Zunahme der, von Absatz zu Absatz 60.
Wasserdampf, gesättigter:
Druck 5, 53.
Gesammtwärme 5, 52, 53.
Temperatur 5, 53.
Regnault'sche Gleichung 5, 52.
Wasserdampf, überhitzter:
Specifische Wärmemenge 4.
Wasserstoff:
Atomgewicht 1.
Chemische Bezeichnung 1.
Heizwerth 3.
Weite,
lichte, und Höhe der Schornsteine im Verhältniss zum Kohlenverbrauch Tabelle I—VII.
Winddruck
bei senkrecht auftreffendem Wind 23, 24, 29—31, 58.
bei übereck wehendem Wind 23, 24, 29—31, 58, 133.
Winddruckes,
Coefficienten des, 26—31, 58.
Moment des, 24.
Wurzeln
der Zahlen 1—1000 Tabelle XXIV—XLIII.

Z.

Zug
eines Schornsteines in Millimeter Wassersäule 16—18, 55.
Zugspannung,
zulässige, für Mauerwerk 70.

Ankündigungen

von

Specialfirmen für Schornsteinbau.

J. W. ROTH, Baumeister,

Altgersdorf i. S.

Pläne und Kostenberechnungen für industrielle und gewerbliche Neuanlagen und Erweiterungen.

Ausführung und Leitung industrieller Bauten. Bau von Fabrikschornsteinen,
insbesondere
Mantelschornsteine nach eigenem bewährten System.
Feuerungsanlagen, Dampfkesseleinmauerungen und Betonbauten.

Die Ausführung der Schornsteine erfolgt sowohl in gelben, als auch in rothen Radialsteinen **von vorzüglichster Beschaffenheit.** Die amtliche Untersuchung meiner Steine durch die Königliche Prüfungsanstalt für Baumaterialien zu Berlin hat ergeben:

Druckfestigkeit 355 kg pro qcm,
Wasseraufnahme nach 125 Stunden 4%

und bei Untersuchung des Materials auf Wetterbeständigkeit ein Vorhandensein an löslichen Salzen von

nur 0,044%.

Ich gewährleiste die sorgfältigste und gewissenhafteste Ausführung der Aufträge durch tüchtiges Personal unter meiner speciellen Controle. **Die eingehende Beschreibung meiner Construction,** sowie **Kostenanschläge** und **Skizzen** übersende ich auf Wunsch an Interessenten **umgehend** und **kostenfrei,** ebenso statische Berechnungen der Schornsteine gegen Winddruck und Fundamentbelastung.

Einige Empfehlungen:

Nordböhmische Webstuhlfabrik C. A. Roscher, Georgswalde i. B.,
Zittauer Maschinenfabrik und Eisengiesserei, Zittau,
Städtisches Elektricitätswerk zu Schönlinde i. B.,
Michaëlis & Cie., Cottbus,
Civil-Ingenieur ***Oscar Beyer,*** *Generalvertretung* ***„Helios", Dresden***
u. s. w. u. s. w.

Die von mir erbauten

Mantelschornsteine

eignen sich infolge ihrer eigenartigen Construction ganz besonders zum gleichzeitigen **Absaugen von Dämpfen, Gasen u. s. w.** aus Färbereien, Bleichereien und sonstigen Betriebsstätten und arbeiten die bisher ausgeführten Anlagen vorzüglich.

Man bittet, die nebenstehende Seite zu beachten!

J. W. ROTH, Baumeister,

Altgersdorf i. S.

Die Einmauerung von Dampfkesseln,

sowie der **Bau sonstiger Feuerungsanlagen** erfolgt auf Grund sorgfältigst ausgearbeiteter Zeichnungen durch geübtes Personal und wird ganz besonderer Werth auf eine **solide, baufachmännische Ausführung des Mauerwerkes und der Züge gelegt.**

Lieferung von Rosten, Feuerthüren und sonstigen Theilen billigst.

Einige Empfehlungen:

Theodor Krampf, Brauerei Eibau,
Arthur Rückert, Grossschönau,
Ludw. Kuhlmann, Schirgiswalde,
Städtisches Elektricitätswerk Schönlinde i. B.
u. s. w. u. s. w.

Ferner übernehme ich die Ausführung von

Stampfbetonarbeiten,

und zwar:

Fundamente für Dampf- und andere Maschinen,
Canäle, Bassins, Gruben,
Turbinenanlagen und sonstige Wasserbauten,
Brücken und Fundamente für Baukörper aller Art,
Fussboden, Gewölbe u. s. w.

Die Betonmischung erfolgt mittelst Maschine auf sorgfältigste Weise. In den weitaus meisten Fällen stellt sich der Betonbau wesentlich billiger als jede andere Ausführungsart. **Kostenanschläge, Projectbearbeitungen** und **Skizzen** für **ernstliche Interessenten kostenfrei.**

Empfehlungen:

C. F. A. Kunze, Bleichanstalt Hänischmühle,
Joh. Benj. Lange & Co., Reichenau,
C. C. Förster, Neusalza-Spremberg,
J. C. Zische & Söhne, Schönbach i. S.,
Oscar Mascheck, Oberoderwitz
u. s. w. u. s. w.

Lieferung und Aufstellung von Hebezeugen aller Art,
Laufkrähne, Drehkrähne, Winden, Flaschenzüge u. s. w.,
Materialienaufzüge bewährtester Construction.

Lieferung von Radialsteinen
zum **Ausmauern von Brunnen** in allen Dimensionen.

Man bittet, die nebenstehende Seite zu beachten!

Aug. Gribbohm

Hamburg — Berlin

Special-Geschäft

für

Schornstein-Neubauten

und

Schornstein-Reparaturen.

Drahtverankerungen

für

Schornsteinbauten und Feuerungsanlagen.

D. R.-P. Nr. 76976.

Die Drähte bilden eine durch die ganze Höhe des Bauwerkes laufende Verankerung und bilden dadurch einen **sicheren Schutz gegen Rissigwerden des Mauerwerkes,** namentlich da, wo größere Hitzeentwickelung einwirkt.

Für die Anwendung der Verankerung berechne nur die Selbstkosten.

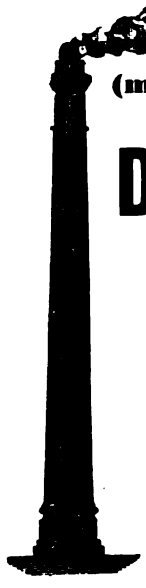
Ueberraschende Erfolge erzielt!

Langjährige Garantieen!

Ludw. Gussenbauer

Wien

IV. Schönburgstrasse Nr. 26



Seit 1874 in dieser Branche thätig!

conc. Specialgeschäft

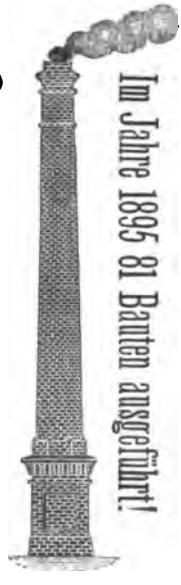
(mit selbstständigem Ausführungsrechte)

für

Dampfschornsteinbau

und

Kessel-einmauerungen.



Im Jahre 1895 81 Bauten ausgeführt!

Baut als Specialität runde

Fabrikschornsteine

ohne Gerüst aus radialen Formsteinen unter **dauernder Garantie** für Stabilität und Witterungsbeständigkeit.

Führt Kesseleinmauerungen durch besteingeschulte Specialmaurer aus.

Reparaturen

an alten Schornsteinen **ohne Betriebsstörung.**

Pläne, Kostenanschläge und Referenzen erster Weltfirmen auf Wunsch gratis und franco.

und mehr werden erreicht durch
sachgemässe Construction von

Fabrikschornsteinen

und

Veränderung derselben

in Verbindung mit **vortheilhafter Anordnung** der **Rauchcanäle.**

Kosten des Umbaues meistens bald durch Kohlenersparniss ersetzt.

Fachgemässe statische Prüfung
von bestehenden Schornsteinen zum Zwecke baulicher Veränderung zur

Vermeidung von Gefahr

bei Erhöhung, Erweiterung u. s. w.

Ingenieur von Hadeln, Hannover.

1846—1896.

Fabrikschornsteine

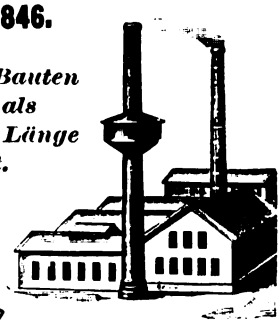
für alle Industrieen

J. Ferbeck & Cie.

Bau-ausführungen
in
Deutschland, Frankreich, Belgien, Luxemburg, Holland, Schweiz, Spanien, Russland, Aegypten, Transvaal.

Forst bei Aachen
Zweiggeschäft: **Rouen** (Frankreich)
Gegründet 1846.

Ueber 1300 Bauten mit mehr als 31 Kilometer Länge errichtet.



Schornsteine aller Art **und für alle Zwecke.**

Die Widerstandsfähigkeit des Ferbeck'schen Steinmaterials gegen alle physikalischen und chemischen Einwirkungen ist durch 50jährigen Gebrauch erwiesen.

Hermann Mäcke

Baumeister

Freiberg in Sachsen.

Filiale:
Reichenberg in Böhmen,
Stadtbaumeister
Josef Pilz.

Gegründet 1873!
Feinste Referenzen!
Viele Hundert Anlagen im Betrieb!

Technisches Bureau

und

Spezial-Geschäft für Fabrik-Schornsteinbau.

Einmauerungen von Dampfkesseln, Braupfannen
und sonstigen Dampf-Gefässen.

Aufmauerung von Maschinenfundamenten, Glühöfen u. a. m.

Erhöhen, Geraderichten, Ausfugen, Binden, Abtragen bestehender Schornsteine ohne Betriebsstörung.

Lieferung und Anbringen von Blitzableitern.

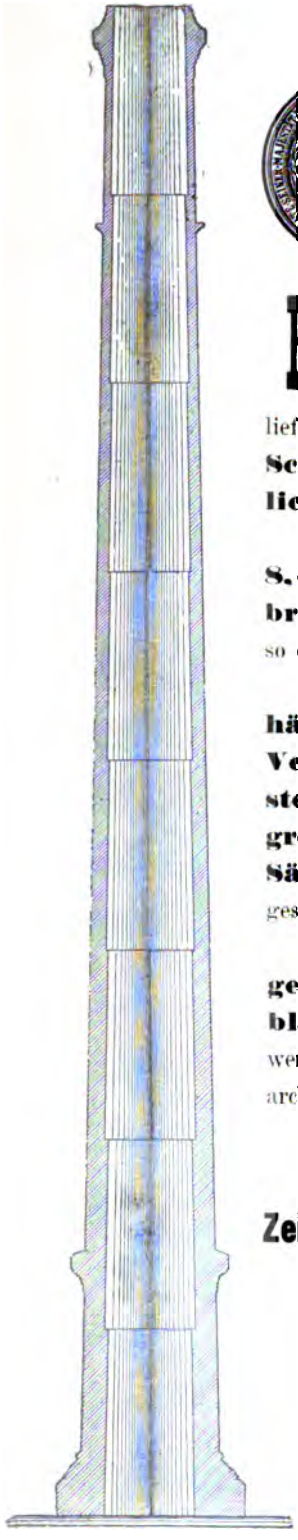
Lager von

Kork-, feuerfesten Chamottesteinen und Einmauerungs-Armaturteilen.

Sämmtliche Bauten werden mit oder ohne Lieferung des Materials, durch besonders dazu geübte, erprobte Leute ausgeführt und für Beständigkeit und gutes Funktionieren weitgehendste Garantie geleistet.

Der Aufbau runder oder eckiger Schornsteine in jeder Höhe geschieht von innen und sind die bei runden Schornsteinen zur Verwendung kommenden **radialen. säure-** und **wetterfesten gelben Thonsteine** von grösster Druckfestigkeit und als vorzüglich zu Schornsteinbauten sich eignend von der Königl. Prüfungsstation für Baumaterialien in Berlin anerkannt; desgleichen übernehme auch die Lieferung von **roten Radialsteinen** und bemerke, dass ich darin ebenfalls ganz vorzügliches Material besitze.

Kostenanschläge, Besuch und technische Auskünfte kostenfrei.



Kodersdorfer
Radial-Schornsteinklinker

liefere in **vier verschieden** grossen **Radien** für **Schornsteine** mit **600 bis 3000 mm obere lichte Weite.**

Diese Klinker werden in **mittleren Längen** von **8, — 12, — 16, — 20, — 24, — 28, — 32 cm** mit **19 cm breiten × 9 cm** starken **Verblend-Köpfen** hergestellt, so dass **50 Köpfe 1 qm Aussenfläche** geben.

Durch diese **breiten** und **starken Köpfe** und **verhältnissmässig wenig Mörtelfugen** wird ein **fester Verband** erzielt und dieser **in Verbindung** mit der **steinzeugartigen Qualität** meiner Ziegel sichert die **grösstmöglichste Stabilität** wie **Wetter-** und **Säurefestigkeit** der aus **meinem Material** hergestellten **Schornsteinsäulen.**

Diese Klinker werden je nach Wunsch mit **roth-** und **gelb-engobirten,** — wie in **gelbbraun, schieferblau, schwarz** und **grün** glasurten Verblendköpfen preiswerth geliefert und somit dem Constructeur Gelegenheit zur architektonischen Verzierung der Säulen geboten.

Preisliston über Radialklinker,

wie

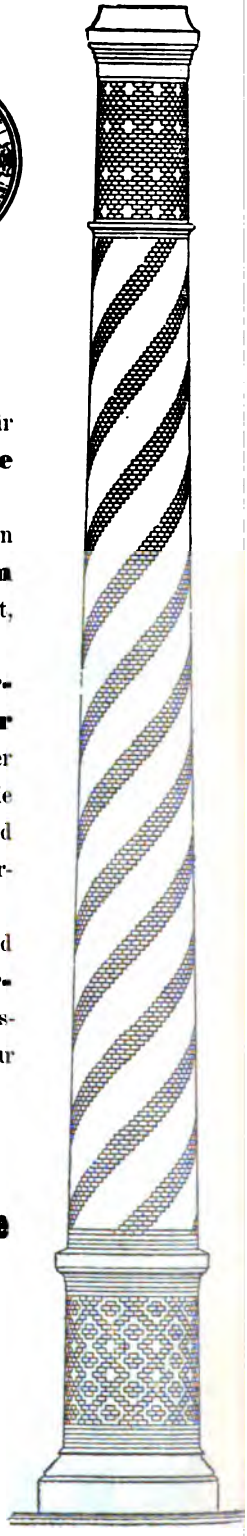
Zeichnungen, Anschläge und Bauübernahme

durch

mein technisches Bureau oder Fabrik in

Görlitz und **Kodersdorf.**

A. Dannenberg.



Technisches Bureau
von
Fritz W. Lürmann-Osnabrück,
Hütten-Ingenieur,
vormals Hütten-Director der Georgs-Marien-Hütte.

Besteht seit 1873.

Von Sr. Exc. dem Minister für Handel und Gewerbe, in Anerkennung

der Leistungen in der Eisenindustrie, in Gold verliehen.

Als Mitarbeiter an den Erfolgen der Georgs-Marien-Hütte

durch Hochofenbetriebsleitung in den Jahren 1857 bis 1873.

A. Begutachtung und Berechnung des Werthes und der Ertragsfähigkeit vorhandener oder zu errichtender Berg-, Hütten- und verwandter Werke, auch Glashütten.

B. Vertrieb in- und ausländischer Patente.

C. Lieferung von Arbeitszeichnungen für Neu- und Umbauten aller Theile von Hüttenwerken.

I. Hochofenanlagen: 1. Likér, Ungarn. 2. Kreuzthal, Siegen. 3. Aplerbeck, Westfalen. 4. Steele, Westfalen. 5. Henrichshütte b. Hattingen, Westf. 6. Rheinische Stahlw., Ruhrort. 7. Laurahütte, Oberschlesien. 8. Rombacher Hüttenw., Lothringen. 9. Katharinahütte, Russ.-Polen. 10. Hochdahl, Rheinland. 11. Königshütte, Oberschlesien. 12. Alpine Montanges. in Donawitz. 13. Krupp'sche Johanneshütte, Duisburg. 14. Soc. des Forges et Aciéries du Donetz à Droujkowka. 15. Act.-Gesellsch. Charlottenh., Niederschelden. 16. Witkowitzer Bergb. u. Eisenh.-Gew. 17. Wicksar Eisenw. b. Murom (Russl.). 18. Hüttenwerk Kulebaki b. Murom. 19. Eisen- und Stahlwerk Hoesch, Dortmund. 20. Hernádthaler ungar. Eisenind. Act.-Ges. in Krompach (Ungarn)

II. Steinerne Winderhitzer. 28 im Bau, 118 im Betriebe.

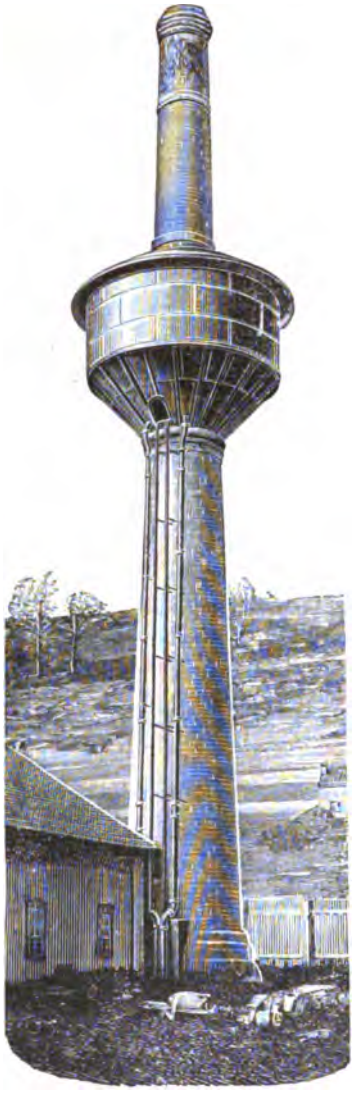
III. Einrichtungen zur besseren Verbrennung von kalten Gasen, z. B. Hochofen- oder Generator-Gasen unter Dampfkesseln. (D. R. P. Nr. 31116.)

a) Kessel mit Hochofengasen . . . . . im Betriebe 167
b) „ „ kalten Gasen von Koksöfen „ „ 35
zusammen 202

IV. Entwürfe für Anlagen zur Herstellung von Mauersteinen aus granulirten Hochofenschlacken. Sechszehn Anlagen im Betriebe.

V. Einrichtungen Greiner & Erpf an Kupolöfen. (D. R. P. Nr. 33212.) An jedem vorh. Kupolofen anzubringen. Geringe Umänderungskosten. Vollständige Verbrennung der Gase. Grosse Koksersparniss. Keine Gichtflamme mehr. Ueber 200 Oefen in Deutschland im Betriebe.

Telegramm-Adresse: **Ingenieur Lürmann,** Osnabrück.



Kamin-Behälter

von

100 Cubikmeter.

F. A. Neuman

Eschweiler 2

(vormals **Aachen**)

Licenz-Inhaber für die D. R.-P Nr. 21951 und 23187 des Herrn **O. Intze,** Professor an der Königl. Technischen Hochschule zu Aachen.

Specialitäten:

Gas-, Wasser- und Oelbehälter.

Fabrik-Schornsteine

mit

Wasserbehälter.

30 Procent Bauersparniss!

330 Ausführungen!

Billigste Hochbehälteranlage!

Dieselben können auch an **älteren, vorhandenen** Kaminen angebracht werden.

Dampfkessel

in allen Systemen.

Eisenkonstruktionen

zu

feuersicheren Fabrikbauten.

Verzinkerei.

Geschweisste Façoneisenringe in allen Dimensionen.

Emil Schulz

Frankfurt a. O.

Gegründet 1882. *Gegründet 1882.*

Spezialgeschäft für Schornsteinbau.

Blitzableiter.

Lieferung von Radialsteinen.

Erhöhung, Reparaturen und Einbinden
ohne Betriebsstörung mit Kunstgerüst.

Einmauerung von **Dampfkesseln.**

Garantie für Stabilität und Wetterbeständigkeit.

Referenzen des In- und Auslandes.

G. Lütgen-Borgmann,

Gesellschaft mit beschränkter Haftung.

Eschweiler und Berlin NW. 52.

Schornsteinbau

und Reparatur für Fabriken.

Feuerungsanlagen,

rauchfreie Feuerungen,

gewerbliche Oefen aller Art.

Kessel-Einmauerungen.

Maschinen-Fundamente.

Chamotte-Materialien.

Dinasteine.

Ingenieur-Arbeiten.

Spezialität:
Schomburg's rauchfreie
Halbgas-Feuerungen.

Gründungsjahr:
1872.

Nürnberg 1882.

Silberne Medaille
Erfurt 1894.

Höchste Auszeichnung!

Gründungsjahr:
1872.

Augsburg 1886.

Jos. Houzer,

Nürnberg.

Special-Geschäft
für
Dampfschornsteinbau
und
Feuerungsanlagen.

Einmauerung von Dampfkesseln
jeden Systems,
sowie
Ausführung von Maschinenfundamenten und Betonarbeiten.

Blitzableiter
neuester Konstruktion — System Houzer.

Schornstein
auf der **Nürnberger Landesausstellung 1896**
ausgestellt.

Schmidt & Adolph, Dortmund

Special-Baugeschäft.

Ringöfen nach eigenen und bewährten anderen Systemen,

ganze Ziegelei-Anlagen, Thonwaaren- und Cementfabriken,

Kohlenwäschen, Separationen u. s. w. u. s. w.

Dampfschornsteine

(Reparaturen an denselben **ohne Betriebsstörung**)

„Geraderichten"

Blitzableiteranlagen mit Control-Apparat (D. R.-P.)

Kesseleinmauerungen aller Systeme

Zeichnungen und Kostenanschläge

Weitgehendste Garantien! *Vorzügliche Referenzen!*

Eduard Steyer

Leipzig-Plagwitz

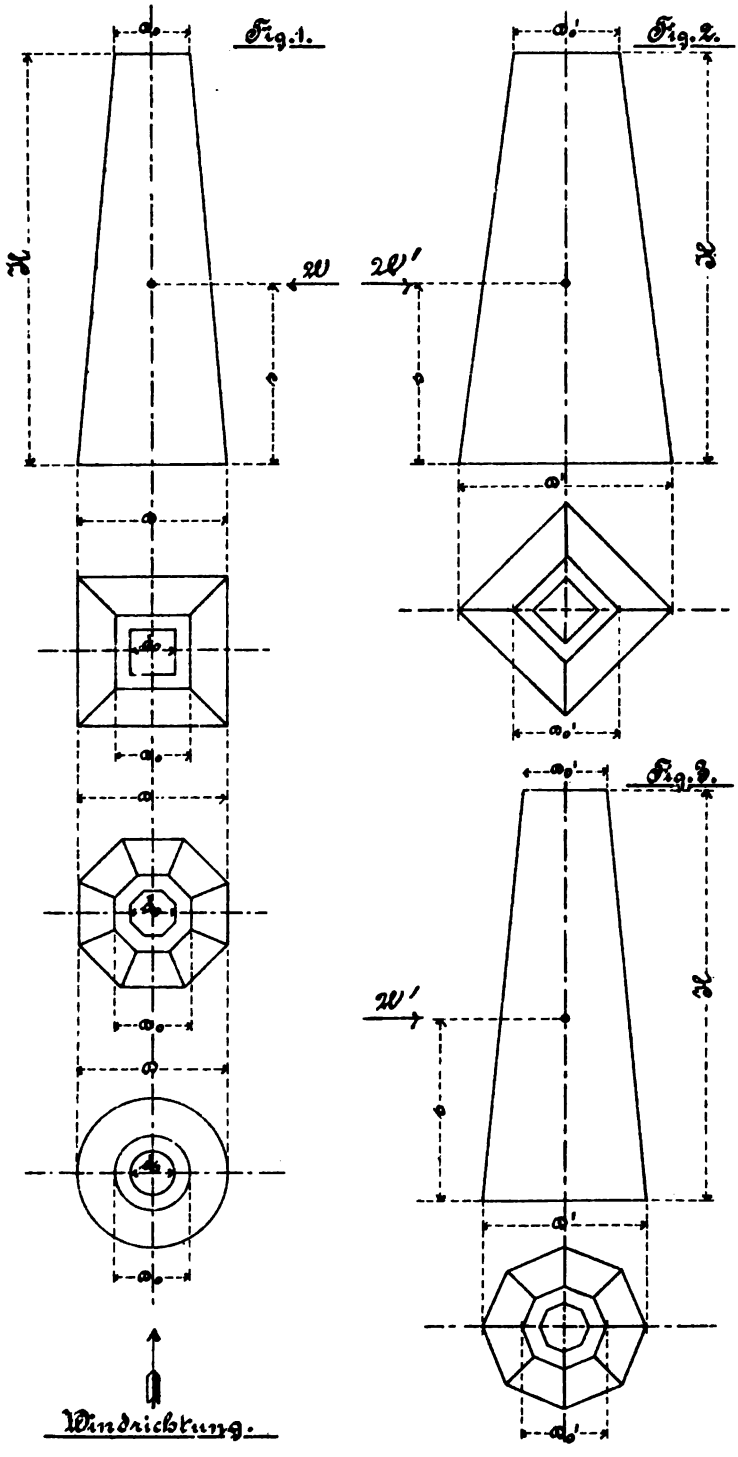
Special-Geschäft

für

Dampfschornstein-Bau

aus

rothen und gelben gelochten Radialsteinen.



Verlag von Craz & Gerlach (Joh. Stettner) in Freiberg i. Sa.

Fig. 1.

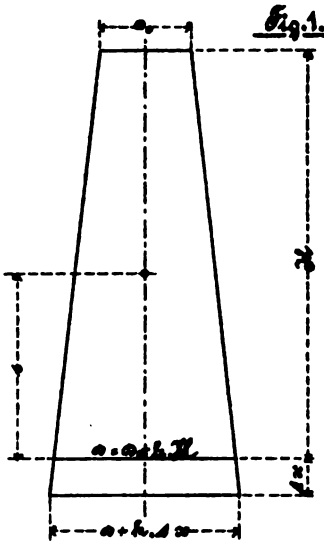


Fig. 3.

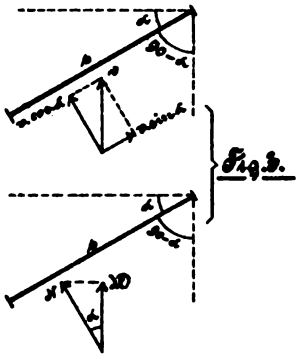


Fig. 2.

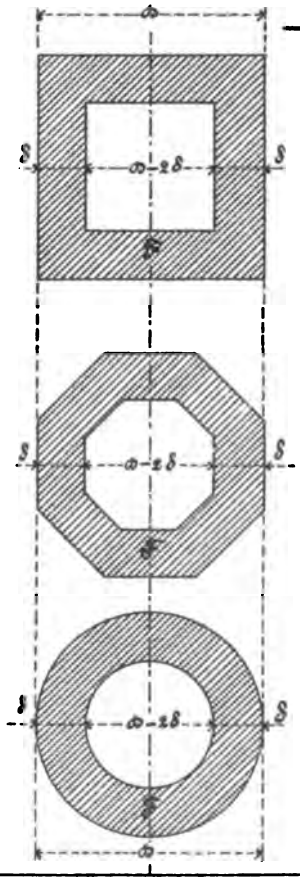
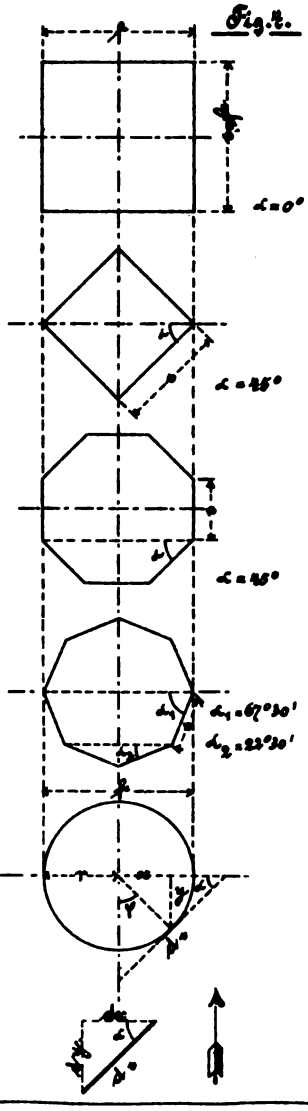


Fig. 4.



Verlag von Craz & Gerlach (Joh. Stettner) in Freiberg i. Sa.

Fig. 1.

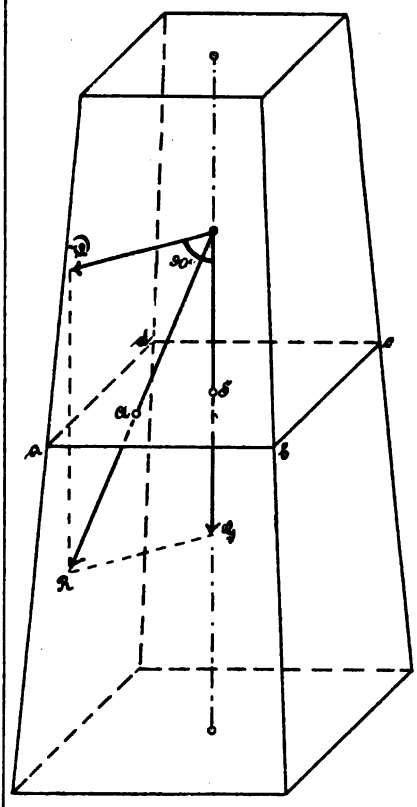


Fig. 3.

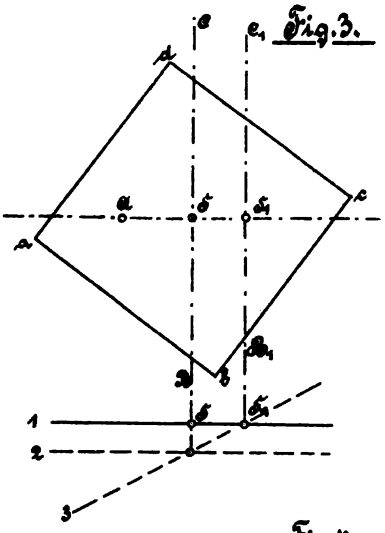


Fig. 4.

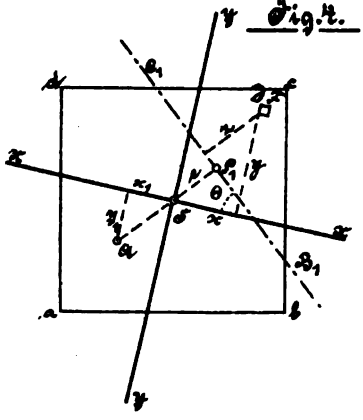


Fig. 2.

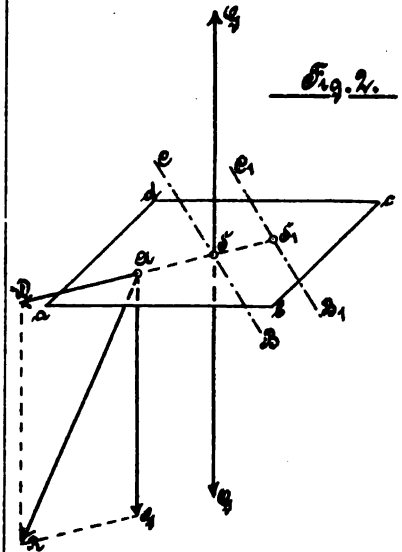
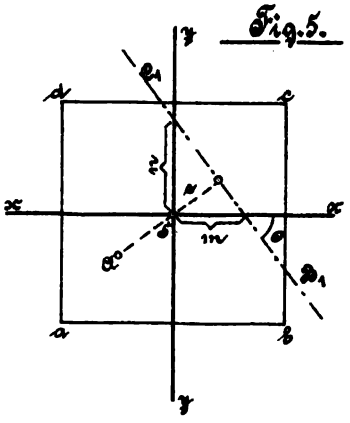


Fig. 5.



Verlag von Craz & Gerlach (Joh. Stettner) in Freiberg i. Sa.

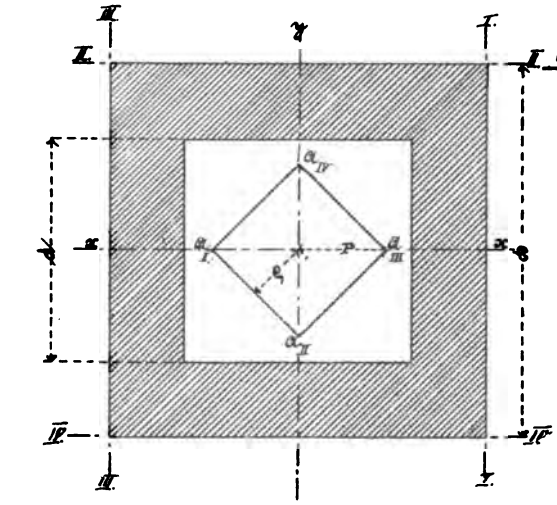


Fig. 1.

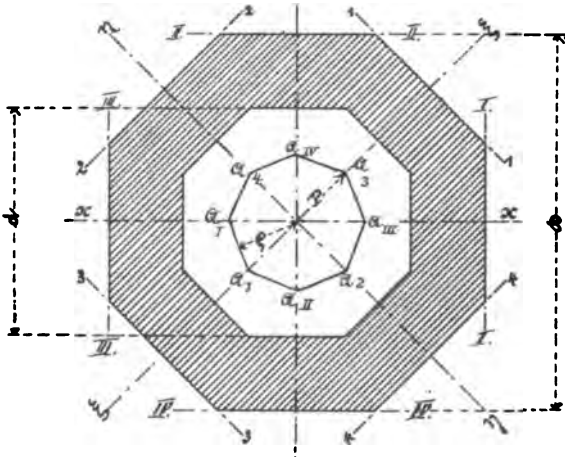


Fig. 2.

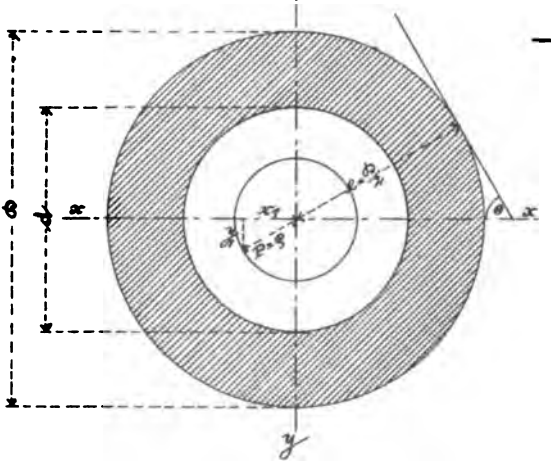
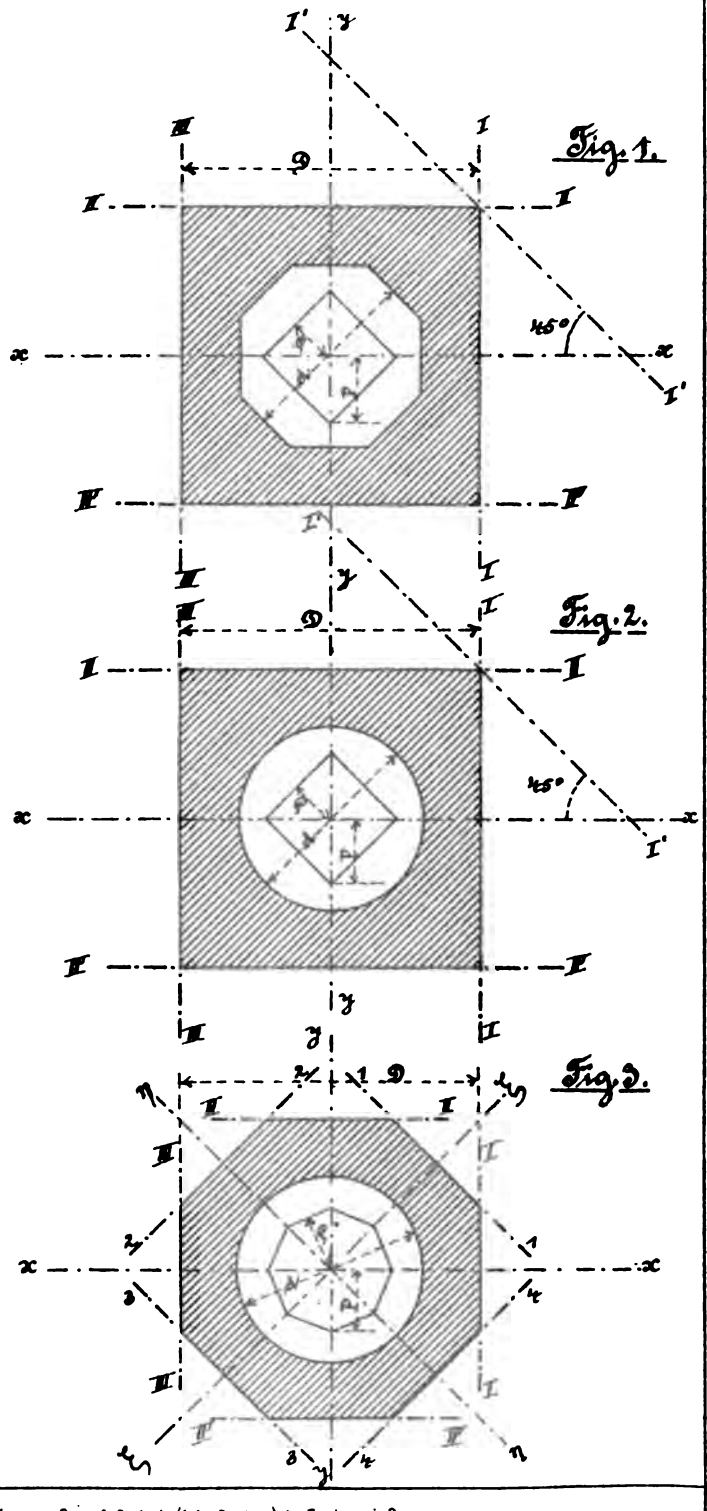


Fig. 3.

Verlag von Craz & Gerlach (Joh. Stettner) in Freiberg i. Sa.



Verlag von Craz & Gerlach (Joh. Stettner) in Freiberg i. Sa.

Fig. 1.

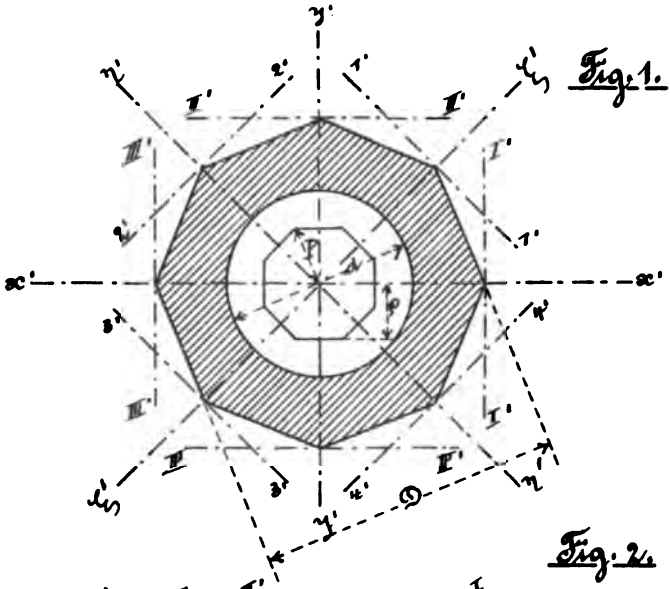


Fig. 2.

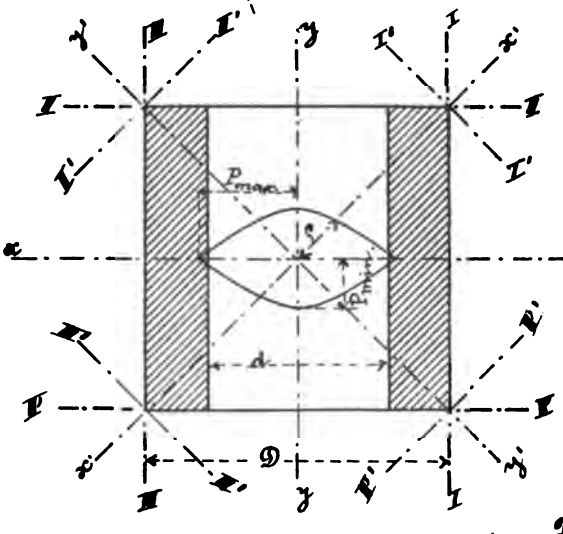
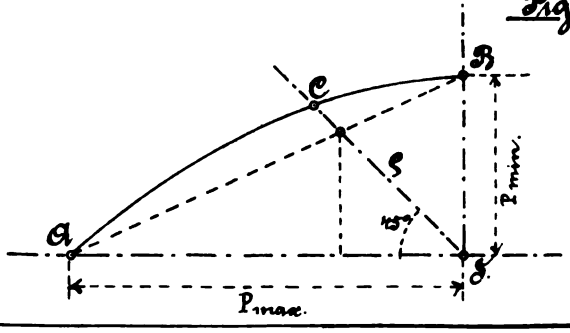
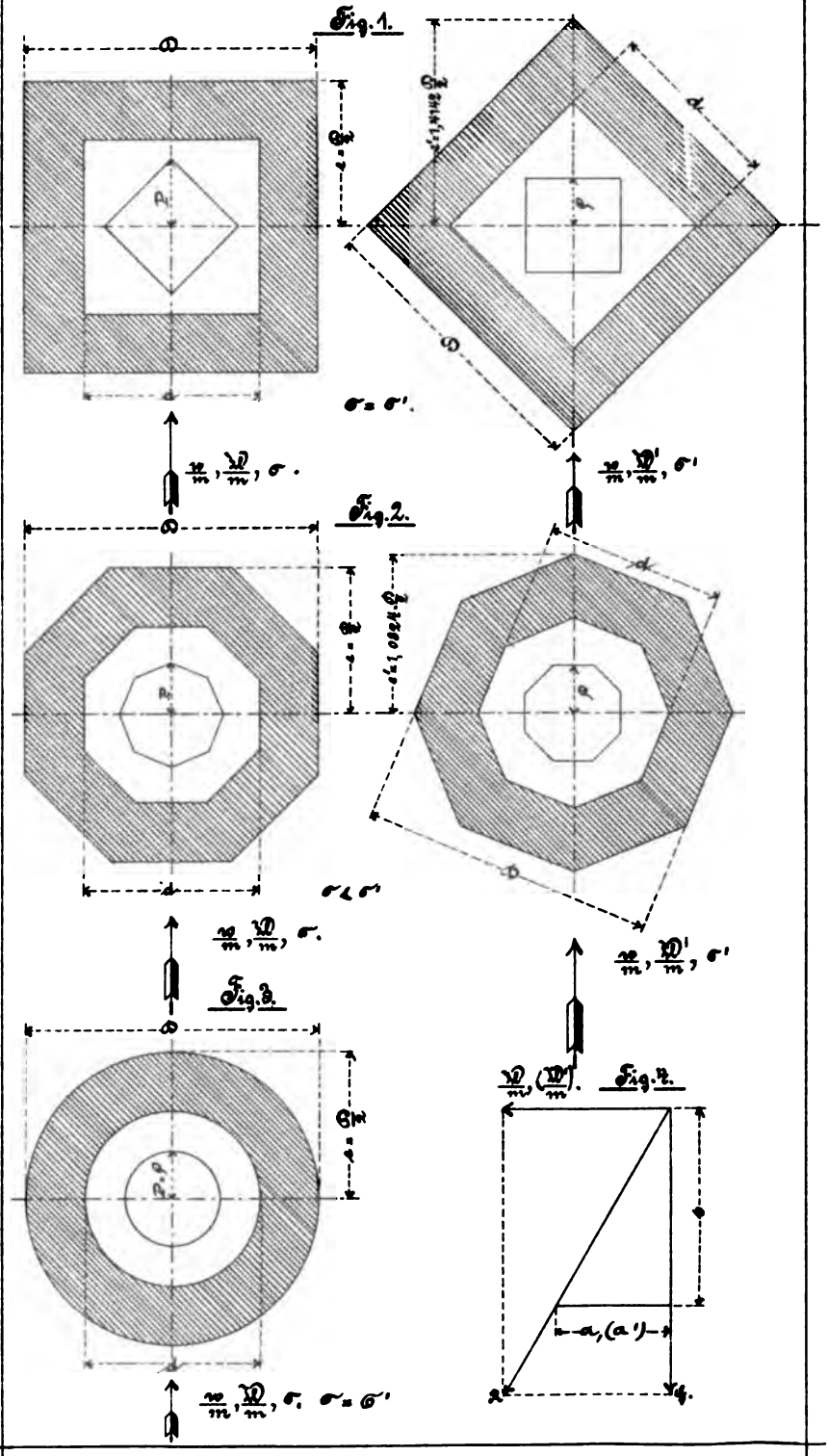


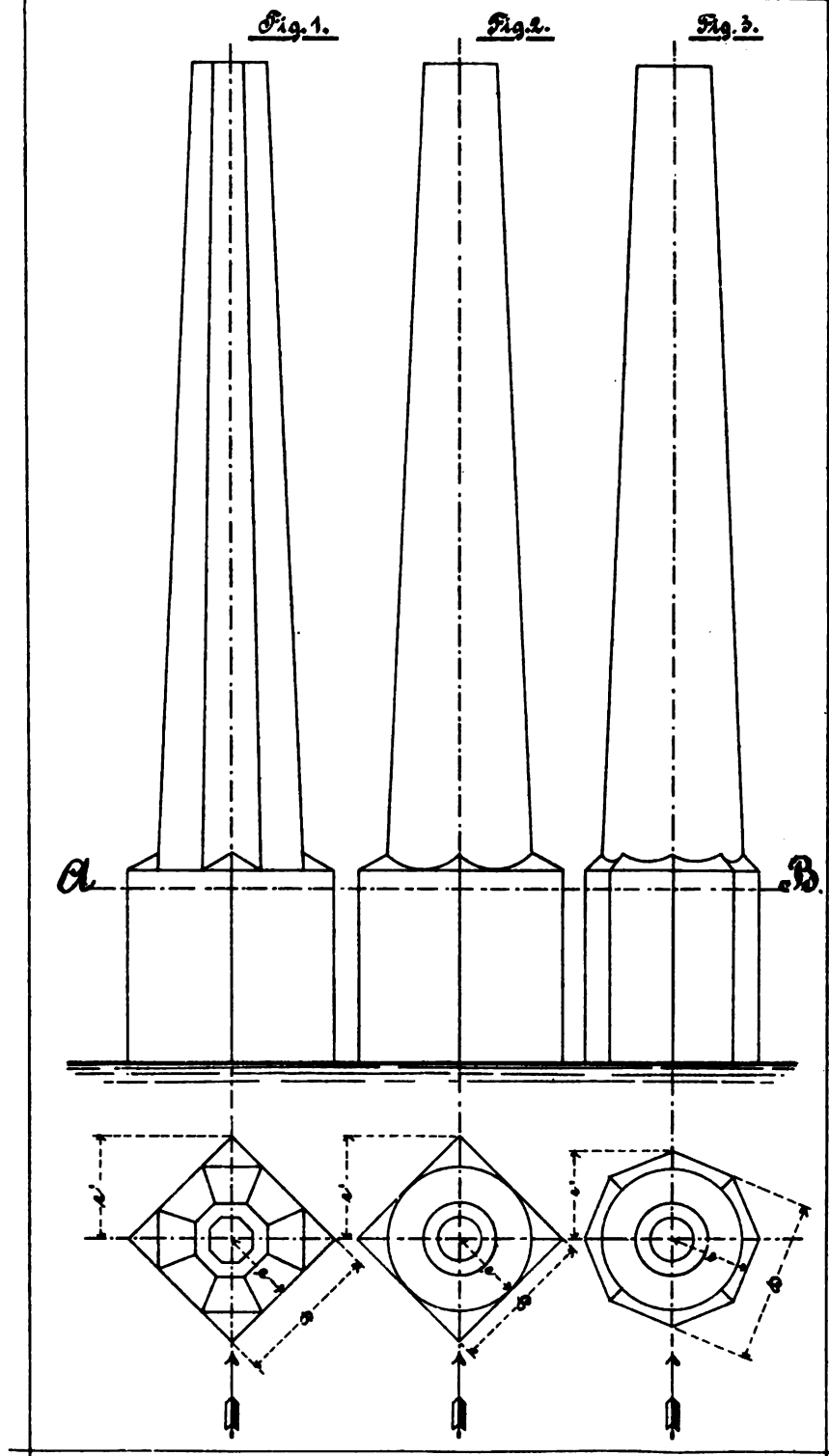
Fig. 3.



Verlag von Craz & Gerlach (Joh. Stettner) in Freiberg i. Sa.

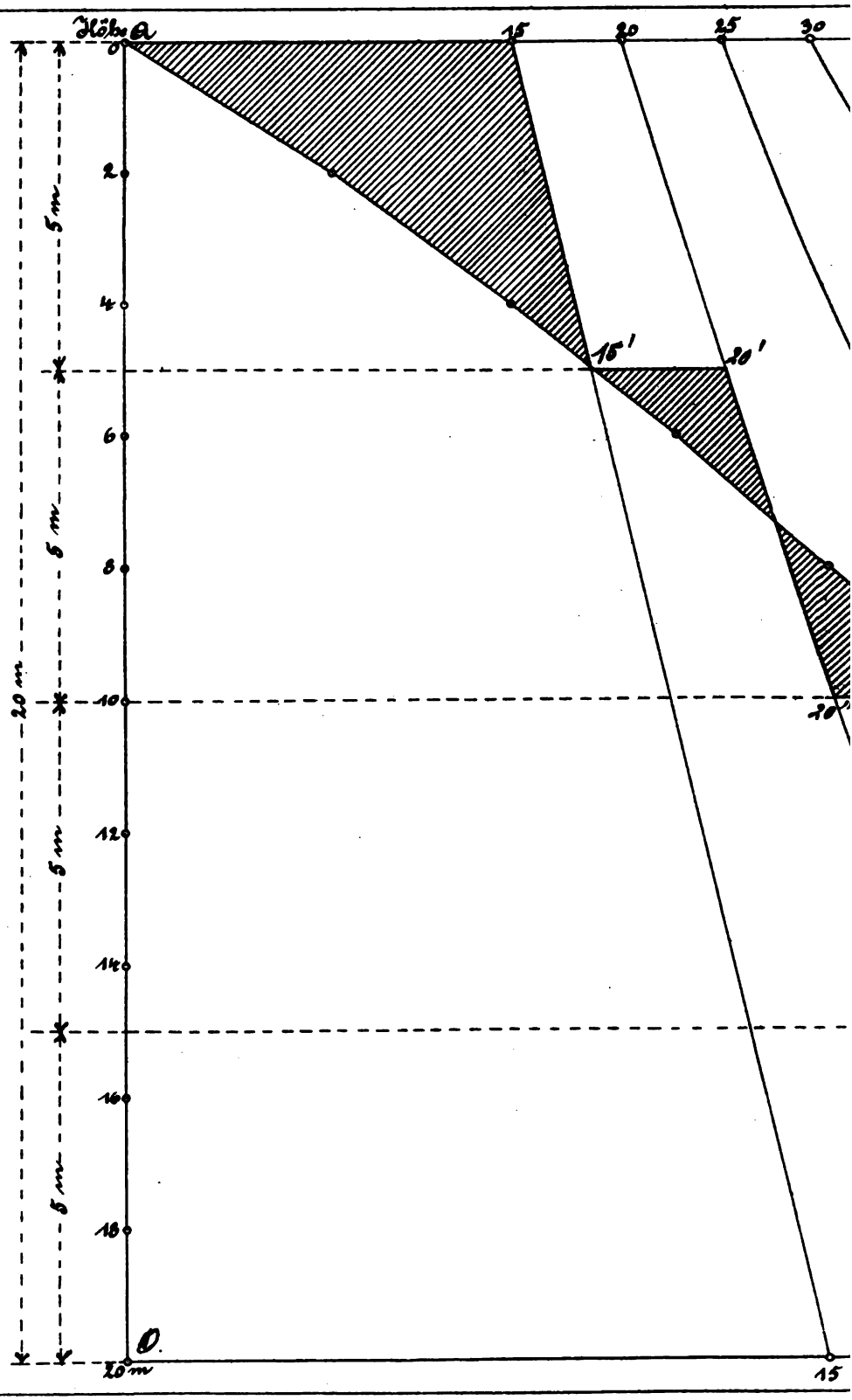


Verlag von Craz & Gerlach (Joh. Stettner) in Freiberg i. Sa.

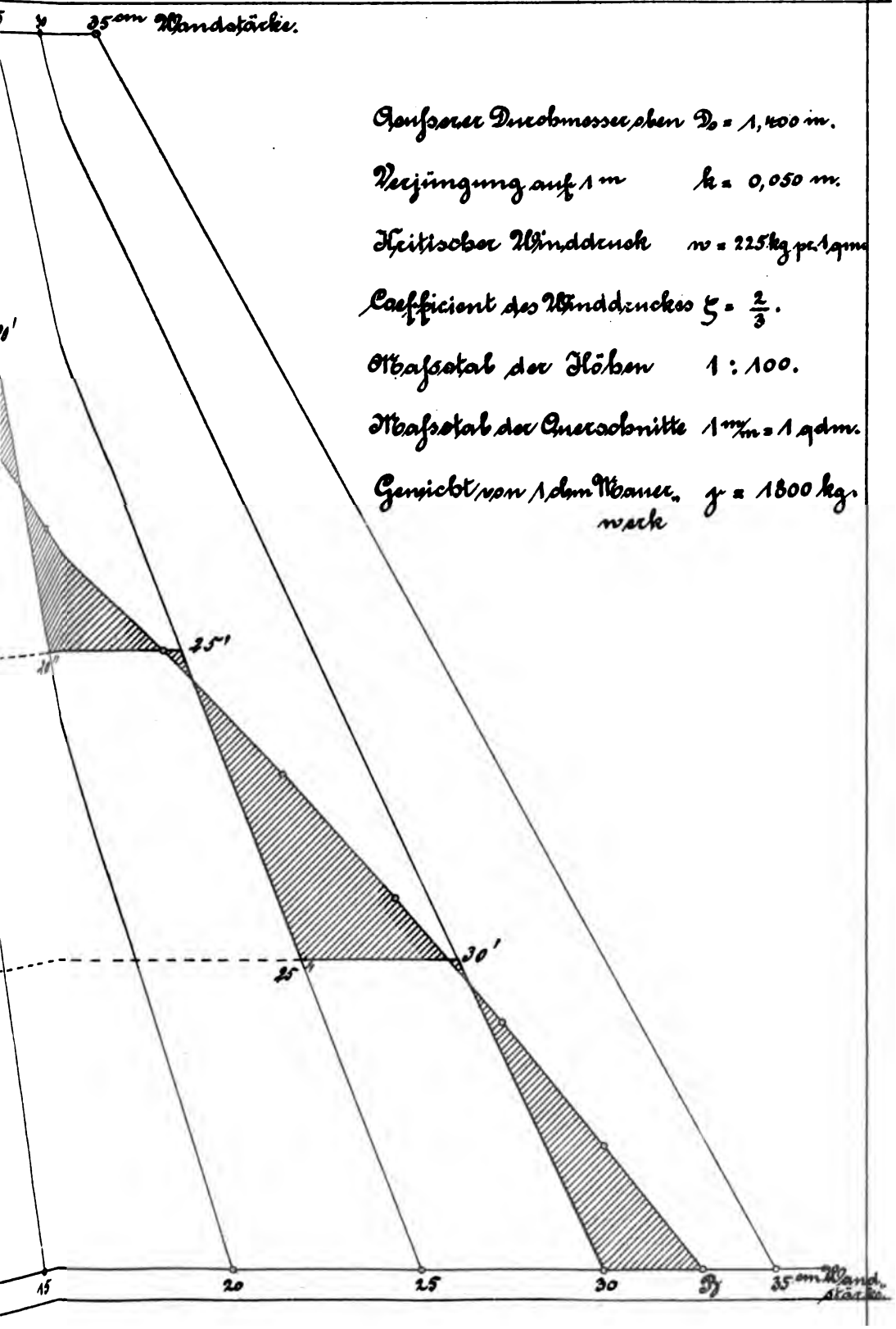


Verlag von Craz & Gerlach (Joh. Stettner) in Freiberg i. Sa.

Dietzsch, Fabrikschornstein.



Verlag von Craz & Gerlach (Joh. Stettner) in Freiberg i. Sa.



Aeußerer Durchmesser oben $D_0 = 1{,}400$ m.

Verjüngung auf 1 m $k = 0{,}050$ m.

Kritischer Winddruck $w = 225$ kg pr. 1 qm

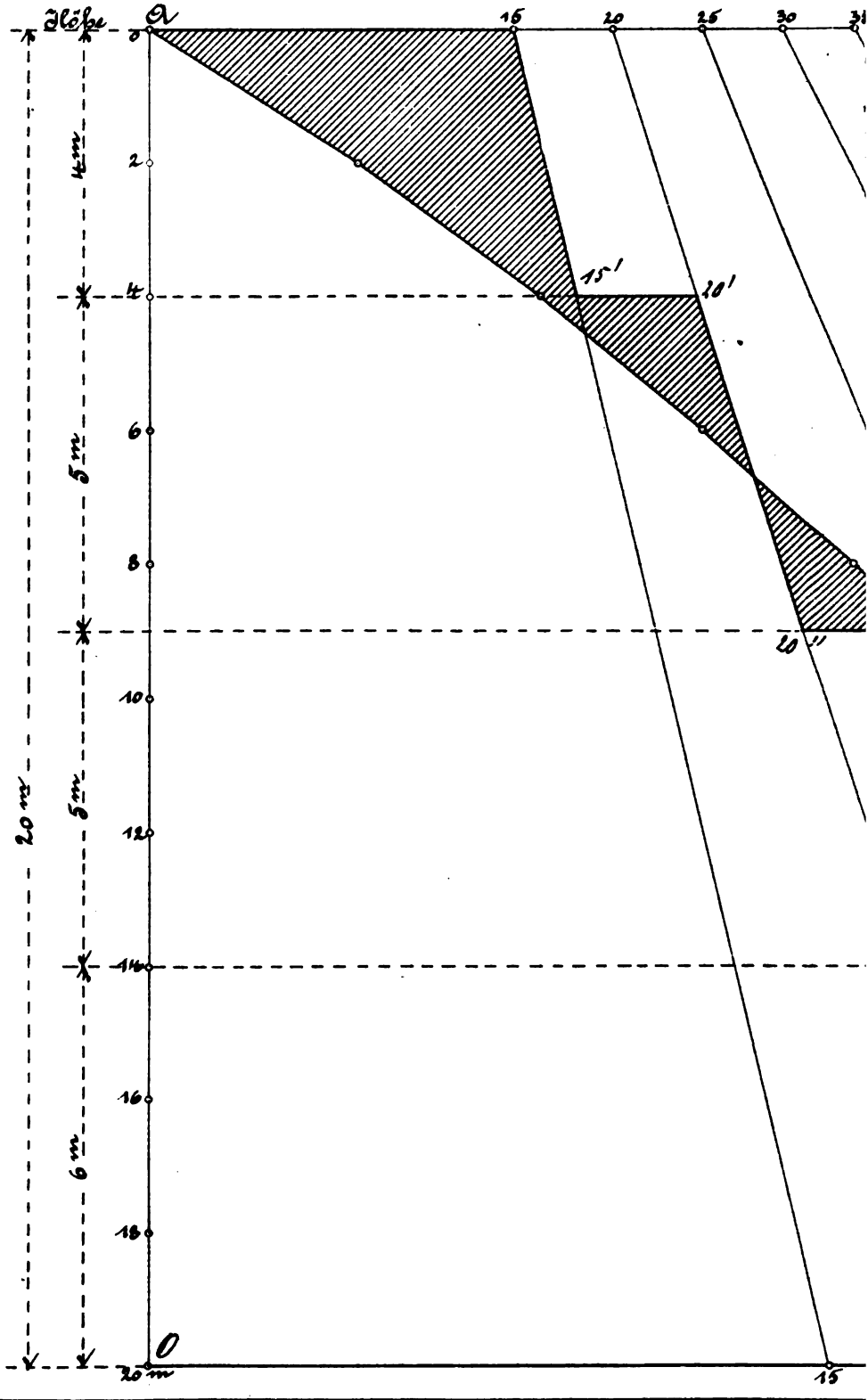
Coefficient des Winddruckes $\zeta = \frac{2}{3}$.

Maßstab der Höhen 1 : 100.

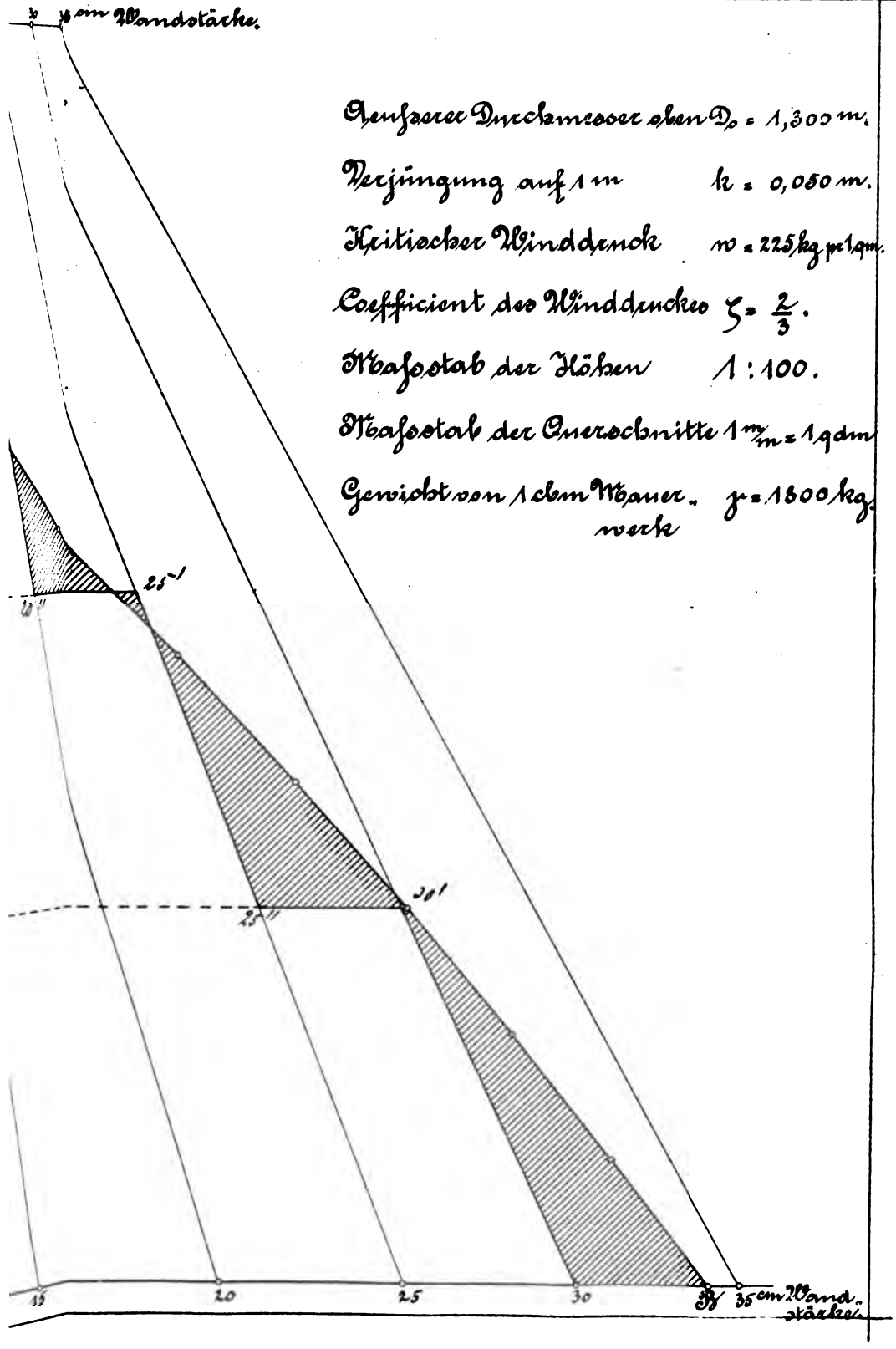
Maßstab der Querschnitte 1 mm = 1 qdm.

Gewicht von 1 cbm Mauerwerk $\gamma = 1800$ kg.

Pietzsch, Fabrikschornstein.



Verlag von Craz & Gerlach (Joh. Stettner) in Freiberg i. Sa.



Aeußerer Durchmesser oben $D_o = 1{,}300$ m.

Verjüngung auf 1 m $k = 0{,}050$ m.

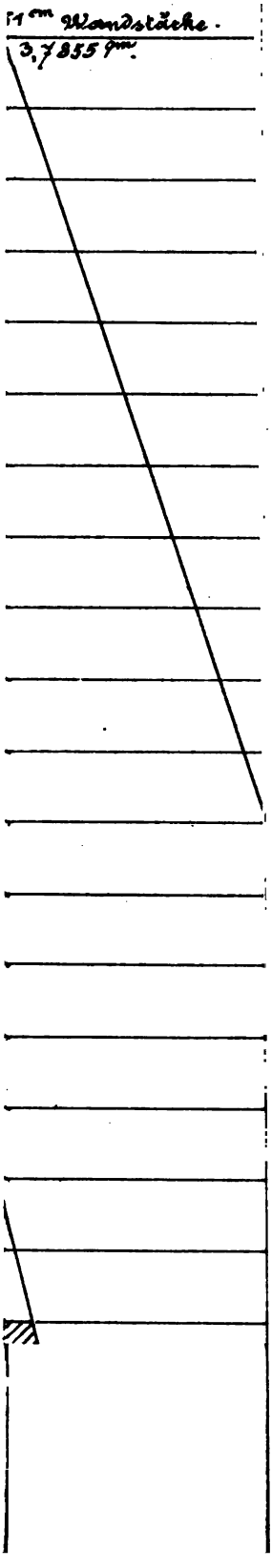
Kritischer Winddruck $w = 225$ kg pr. 1 qm.

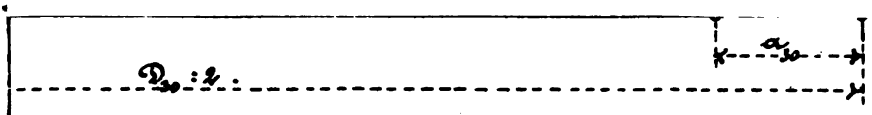
Coefficient des Winddruckes $\zeta = \frac{2}{3}$.

Maßstab der Höhen $1 : 100$.

Maßstab der Querschnitte $1\,m/m = 1$ qdm

Gewicht von 1 cbm Mauerwerk $\gamma = 1800$ kg.


F1 cm Wandfläche.
3,7855 qm.

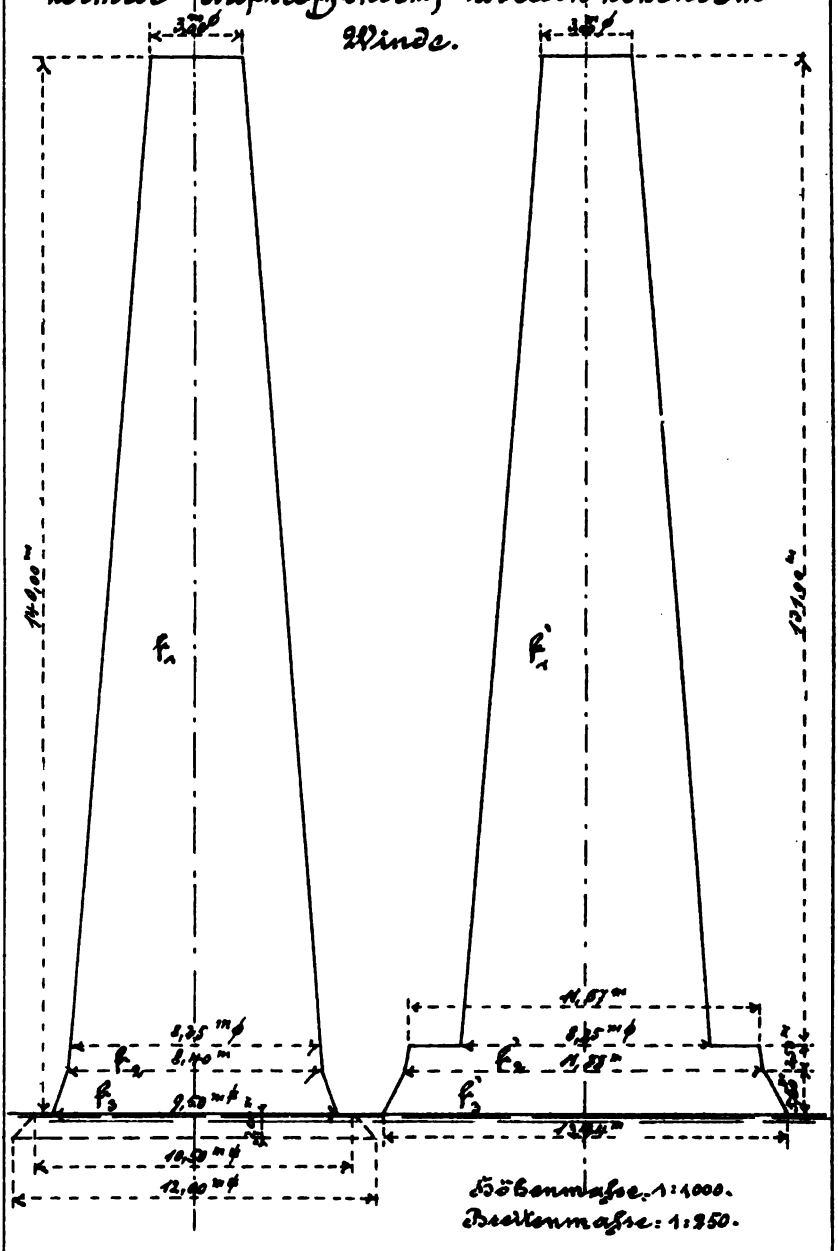

$D_{30} : 2$
a_{30}

Hohe Esse d. Kgl. Halsbrückner Hütte.

Projektion der Esse auf eine zur Windrichtung senkrechte Ebene

bei

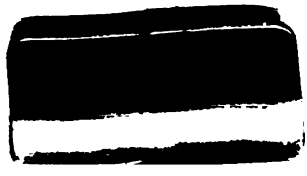
normal auftreffendem, über Eck wehendem Winde.



Verlag von Craz & Gerlach (Joh. Stettner) in Freiberg i. Sa.

89089674683

B89089674683A



b89089674683
b89089674683a